



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE - PRODEMA**

SANDRA MARIA MENDES

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO
BIOMA CAATINGA**

Recife

2015

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

SANDRA MARIA MENDES

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO
BIOMA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de mestre.

Prof^a. Dr^a. Josiclêda Domiciano Galvínio

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Werônica Meira de Souza

Coorientadora

Recife

2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

M538i Mendes, Sandra Maria.
Impacto das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica no bioma caatinga / Sandra Maria Mendes. – Recife: O autor, 2015.
92 f. : il. ; 30cm.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Josiclêda Domiciano Galvínio.
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Werônica Meira de Souza.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2015.
Inclui referências.

1. Gestão ambiental. 2. Climatologia. 3. Mudanças climáticas. 4. Impacto ambiental. 5. Caatinga. I. Galvínio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Souza, Werônica Meira de (Coorientadora). III. Título.

363.7 CDD (22.ed.) UFPE (BCFCH2015-81)

SANDRA MARIA MENDES

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO
BIOMA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção de título de mestre.

Aprovado em: 10/03/2015

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Josicleda Domiciano Galvínio (Orientadora)
Departamento de Ciências Geográficas - UFPE

Prof.^a Dr.^a Werônica Meira de Souza (Coorientadora)
Unidade Acadêmica de Garanhuns - UFRPE

Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Bezerra de Araújo
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof.^a Dr.^a Zilurdes Fonseca Lopes
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, pois a ele devo todas as minhas conquistas e persistência para lutar por tudo que pretendo ser e ter nessa existência.

À minha mãe Maria José, minha irmã Alexssandra pela dedicação, amor e incentivo em todas as minhas escolhas de vida. Agradeço por estarem sempre comigo. À minha sobrinha e afilhada Lara, que nos momentos mais difíceis sempre me alegrava resultando em muitos sorrisos. Ao amigo Jeffy Marques, por todos os incentivos e “broncas” desde a época da seleção do mestrado.

Um agradecimento especial à professora Orientadora Josiclêda Domiciano Galvêncio e à professora coorientadora Weronica Meira de Souza, pelas prestimosas orientações e dedicação com a pesquisa. Obrigada pela oportunidade que me foi dada, por todo aprendizado a mim transmitido e pela colaboração em apoiar e estimular o andamento do trabalho.

Agradeço à Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, ao Centro de Filosofia e Ciências Humanas – CFCH, ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA pelo apoio acadêmico e institucional na formação de pesquisadores ao longo do curso.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, pelo interesse e discussões contínuas na formação dos alunos.

Agradeço aos amigos e colegas de curso do PRODEMA, em especial a turma de 2013, pela união, apoio e companheirismo nos desafios que as pesquisas nos impõem, pela colaboração acadêmica.

Agradeço ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – SERGEO, pela infraestrutura e construção do conhecimento. A todos os amigos que fazem parte do SERGEO, em especial a Rodrigo Miranda, Ygor Cristiano, Elisabeth Cavalcanti, Pedro Paulo de Lima e Viviane Gomes, grandes colaboradores e incentivadores do meu trabalho, pela coparticipação acadêmica e didática sempre presente.

Agradeço ao Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE e ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, por ter cedido os dados modelados da pesquisa, do Centro

de Previsão do Tempo e Clima/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE, em especial ao meteorologista, Wanderson Santos, pelo tempo e recursos despendidos para realizar o recorte dos dados climáticos da área de estudo.

Agradeço a todas as instituições que colaboraram com o financiamento da pesquisa em especial à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE e à Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, pela concessão de bolsas de apoio à pesquisa.

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente cooperaram para a conclusão desta pesquisa, minha profunda gratidão.

Lamento Sertanejo

Por ser de lá
Do sertão, lá do cerrado
Lá do interior do mato
Da caatinga e do roçado
Eu quase não saio
Eu quase não tenho amigo
Eu quase que não consigo
Ficar na cidade sem viver contrariado

Por ser de lá
Na certa, por isso mesmo
Não gosto de cama mole
Não sei comer sem torresmo
Eu quase não falo
Eu quase não sei de nada
Sou como rês desgarrada
Nessa multidão, boiada caminhando a esmo.

Dominguinhos e Gilberto Gil (2002)

RESUMO

A modelagem de clima tornou-se uma ferramenta fundamental na elaboração de cenários climáticos futuros em todo o mundo, auxiliando dessa forma no estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre populações e biomas mais vulneráveis aos efeitos do clima, assim como permite avaliar como será o clima futuro contribuindo no monitoramento climático. Deste modo, estudar a modelagem climática e, consequentes cenários climáticos em regiões mais vulneráveis como o semiárido nordestino é de grande importância para auxiliar o planejamento e elaboração de políticas públicas para combate e mitigação dos efeitos das mudanças e variabilidade do clima. Com isso, o presente trabalho visa analisar os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica no bioma Caatinga gerando cenários de mudanças climáticas utilizando o modelo regional ETA – CTPTEC, e aliando as tendências climáticas futuras para o município de Petrolina no Estado de Pernambuco, município este que possui clima semiárido e apresenta um grande potencial agrícola no sertão Pernambucano, além de verificar como esses cenários climáticos futuros podem interferir na vida da população local e na conservação e preservação do bioma Caatinga. As análises dos dados foram feitas por meio de correlação dos valores observados e modelados da precipitação, temperatura do ar, e evapotranspiração. Ainda foi realizada a comparação das médias mensais, apreciação dos balanços hídricos, e elaboração de tendências climáticas até 2040. Os resultados apresentaram correlação de R^2 0,516 para os dados de temperatura do ar e fraca correlação com dados de precipitação R^2 0,097, além de uma tendência de aumento da temperatura para 2040. No que concerne a precipitação não apresentou tendência. A correlação da evapotranspiração potencial foi R^2 0,4916, maior que a correlação da evapotranspiração real R^2 0,0881, o que pode ser explicado devido aos erros nos dados de entrada do modelo, como também aos anos avaliados (um ano chuvoso seguido por dois anos secos). Dessa forma não seriam diferentes as correlações do Índice de Área Foliar, onde a correlação com dados de precipitação observada foi de R^2 0,3021 e com a precipitação modelada foi de R^2 0,1187. Nas comparações das médias estiveram mais próximas para temperatura em torno de 0,2°C e altas diferenças na precipitação atingindo 152,11 mm no ano de 2011, e os balanços hídricos modelados e observados, apresentaram ambos, deficiência hídrica durante praticamente todo o ano, com altas taxas de evapotranspiração com totais anuais em torno de 568,5 mm, o que pode vir a interferir na vegetação de Caatinga e na vida da população local, principalmente no que diz respeito ao abastecimento de água.

Palavras-chave: ETA. Cenários Climáticos. Caatinga. Variabilidade Climática.

ABSTRACT

Climate modeling became a fundamental tool in the designing of future climate scenarios all over the world, thus being helpful in the analysis of the impacts of climate changes on populations and biomes more vulnerable to the effects of climate, besides that, it also permits evaluate how the future climate will be, thus contributing to the climate monitoring. Therefore, to study climate modeling and consequent climate scenarios in more vulnerable regions like the Northeastern semi-arid is very important to assist the planning and elaboration of public policies to combat and mitigate the effects of change and variability of the climate. Thus, the present work analyzes the impacts of climate change on water availability in the Caatinga biome generating climate change scenarios using the ETA model - CTPTEC, and combining future climate trends for the city of Petrolina in Pernambuco State, a municipality that has a semi-arid climate and that presents a great agricultural potential in the Pernambuco backlands, besides verifying how these future climate scenarios can interfere in the lives of the local population and in the conservation and preservation of the Caatinga scrub. The data analyses were made through the correlation of the observed and modeled values of the precipitation and air temperature, in addition to the correlation and evapotranspiration. Also was performed to compare the monthly average assessment of water balances, besides of the elaboration of climate trends until 2040. The results showed a correlation R^2 0.516 for air temperature data and weak correlation with R^2 0.097 precipitation data, and a trend Increase temperature to 2040. As regards the precipitation showed no tendency. The correlation of potential evapotranspiration was R^2 0.4916, higher than the correlation of actual evapotranspiration R^2 0.0881, which might be due to errors in model input data, but also the years evaluated (a rainy year followed by two dry years). Thus would not be different correlations of Leaf Area Index could not be different, where the correlation with observed rainfall data was 0.3021 and R^2 with patterned precipitation was R^2 0.1187. Mean comparisons were closer to average temperature of 0.2 °C and high differences in precipitation reaching 152.11 mm in 2011, and the modeled and observed water balance showed both water deficit during the entire year with high rates of evapotranspiration with annual total around 568.5 mm, which will interfere in the Caatinga vegetation and life of the local population, especially with regard to water supply.

Key-words: ETA. Climate Scenarios. Caatinga. Climate Variability

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Esquema da Proposta para Metas Gerais do Plano Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de Pernambuco
- Figura 2 Campos ilustrativos de tendência do modelo ETA-HADCM, no período de 2011-2040
- Figura 3 Mapa de localização do Município de Petrolina no Estado de Pernambuco
- Figura 4 Mapa indicando as classes de solos que ocorrem no Município de Petrolina, PE
- Figura 5 Mapa indicando as bacias hidrográficas do Município de Petrolina, PE
- Figura 6 Valores de médias mensais da temperatura do ar medidos em 2011 no Município de Petrolina, PE
- Figura 7 Valores de médias mensais da temperatura do ar medidos em 2012 no Município de Petrolina, PE
- Figura 8 Valores de médias mensais da temperatura do ar medidos em 2013 no Município de Petrolina, PE
- Figura 9 Valores de médias mensais da precipitação pluviométrica medidos em 2011 no Município de Petrolina, PE
- Figura 10 Valores de médias mensais da precipitação pluviométrica medidos em 2012 no Município de Petrolina, PE
- Figura 11 Valores de médias mensais da precipitação pluviométrica medidos em 2013 no Município de Petrolina, PE
- Figura 12 Correlação entre os dados observados e modelados pelo ETA da temperatura média mensal do ar para os anos de 2011 a 2013 obtidos para Petrolina, PE
- Figura 13 Correlação entre os dados observados e modelados pelo ETA da precipitação pluviométrica mensal do ar para os anos de 2011 a 2013 obtidos para Petrolina, PE
- Figura 14 Correlação entre os dados observados e modelados da ETP para os anos de 2011 a 2013
- Figura 15 Correlação entre os dados observados e modelados da ETR para os anos de 2011 a 2013
- Figura 16 Balanço hídrico com dados modelados (a, b) e observados (c, d) para o ano de 2011
- Figura 17 Balanço hídrico com dados modelados (a, b) e observados (c, d) para o ano de 2012
- Figura 18 Balanço hídrico com dados modelados (a, b) e observados (c, d) para o ano de 2013
- Figura 19 Correlação do IAF com a precipitação observada

- Figura 20 Balanço hídrico com dados modelados (a, b) e observados (c, d) para o ano de 2013
- Figura 21 Correlação do IAF com a precipitação modelada
- Figura 22 Frequência das médias do IAF com a precipitação observada para os anos de 2011 a 2013
Frequência das médias do IAF com a precipitação modelada para os anos de 2011 a 2013
- Figura 23 Tendência da temperatura do ar até 2040 para Petrolina cenário A1B
- Figura 24 Tendência da precipitação pluviométrica até 2040 para Petrolina cenário A1B
- Figura 25 Balanço hídrico para o ano de 2020 para o Município de Petrolina - PE
- Figura 26 Balanço hídrico para o ano de 2030 para o Município de Petrolina - PE
- Figura 27 Balanço hídrico para o ano de 2040 para o Município de Petrolina - PE

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOGCMs	Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
AR4	<i>Fourth Assesment Report</i> , Quarto Relatório de Avaliação (IPCC)
AS	Albedo da Superfície
BH	Balanço Hídrico
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Clima
ETACLIM	Modelo Climático Regional ETA
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
GCMs	Modelos Globais Atmosféricos
GEE	Gases de Efeito Estufa
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> – IPCC, Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ITEP	Instituto de Tecnologia do Estado de Pernambuco
LAMEPE	Laboratório de Meteorologia de Pernambuco
MODIS	<i>Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MNPT	Modelos de Previsão do Tempo
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PELD	Programa Ecológico de Longa Duração
RegCM3	Regional ClimateModel – Versão 3
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UNFCCC	<i>United Climate Change Convention</i>
VCAS	Vórtices Ciclônicos de Ar Superior
ZAPE	Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	17
1.2	Hipótese da pesquisa	18
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo Geral	18
1.3.2	Objetivos Específicos	18
1.4	Estrutura da dissertação	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Mudanças Climáticas e Variabilidade do Clima	20
2.1.1	Plano Estadual de Mudanças Climáticas	24
2.2	Modelos de Previsão do Tempo, Climáticos Globais e Climático Regional	26
2.3	Vulnerabilidade da Caatinga	34
2.4	Evapotranspiração	36
2.5	Balanco Hídrico	38
3	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1.	Caracterização da área de Estudo	40
3.1.1	Clima	41
3.1.2	Solo	41
3.1.3	Hidrografia	42
3.2	Material	43
3.3	Métodos	45
3.3.1	Procedimentos metodológicos	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	Comparativo das médias mensais das variáveis	48
4.2	Análises da correlação linear simples entre os dados modelados e observados de temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica	54
4.3	Análises da correlação linear simples entre os dados modelados e observados da Evapotranspiração Potencial – ETP e Evapotranspiração Real – ETR	58

4.4	Análises de tendência da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica até 2040 para a área de estudo	63
4.5	Análises do balanço hídrico climatológico dos dados modelados e observados	69
4.6	Análises da correlação Linear simples entre a precipitação observada e modelada com o Índice de Área Foliar para os anos de 2011 a 2013	73
4.7	Análise dos balanços hídricos projetados para os anos de 2020, 2030, 2040 para o Município de Petrolina - PE	78
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
5.1	Benefícios	83
6	REFERÊNCIAS	85

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais são, ultimamente, uma das maiores apreensões científicas, e sentidas em todas as esferas do planeta, com efeitos nos ecossistemas naturais e nos recursos hídricos. Atualmente, presenciam-se eventos climáticos desordenados, como aumento da temperatura do ar, extremos de precipitações, derretimento acelerado das calotas polares e furacões de grande escala, evidenciando assim a ocorrência de alterações no clima do planeta Terra (MARENGO; SOARES, 2003).

Dada a importância das condições climáticas para os seres vivos, estima-se que grandes alterações no clima possa afetar o desenvolvimento das espécies, econômico e social nos mais diversos setores do planeta. Desta forma, tais alterações poderão gerar modificações no atual cenário da flora e fauna nas diferentes regiões do globo, com sérias consequências econômicas, sociais e ambientais. Nobre (2001) afirma que há no Brasil uma enorme carência de estudos sobre a vulnerabilidade da sociedade, da economia e do ambiente, incluindo os ecossistemas, às mudanças climáticas globais.

Não somente as mudanças climáticas afetam os ecossistemas e as espécies diretamente, como também os humanos que têm grande contribuição nos impactos causados aos ecossistemas, através, por exemplo, do desenvolvimento econômico, que contribui no aumento do impacto antrópico sobre o meio ambiente, como as atividades agrícolas e industriais. Embora alguns fatores causem impactos menores quando atua sozinho, seu impacto cumulativo pode levar a drásticas mudanças ecológicas, prejudicando a qualidade de vida das populações e a preservação das espécies no Planeta.

O aquecimento global e as possíveis mudanças climáticas que decorrentes estão entre as principais manifestações da atual crise ambiental, cuja abrangência ocorre em nível global. Apesar de consistir em um fenômeno natural, sob o ponto de vista do tempo geológico, o efeito estufa tem sido agravado desde o início da Revolução Industrial, onde o homem intensificou a exploração dos recursos naturais (CORDEIRO; SOUZA; MENDONZA, 2008).

É sabido que a atividade industrial está afetando o clima terrestre na sua variação natural. Durante os primeiros cinco anos do século XXI, mapas de anomalias de temperatura em relação ao período de 1951-1980 demonstraram que houve, de modo geral, aquecimento no planeta. Contudo, este aquecimento foi maior nos continentes do que nos oceanos, e também nas maiores latitudes do Hemisfério Norte (HANSEN et al., 2006, apud MORAES et al, 2011, p. 5). Isto sugere que a atividade humana desempenha fator determinante no aquecimento (MARENGO; SOARES, 2003).

Estudos divulgados pelo “Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas” mostram que os impactos do aquecimento global podem ser catastróficos (IPCC, 2007). Ainda não se sabe as consequências destas alterações em longo prazo, pois, o período de observação é muito curto. Porém uma das possíveis consequências desse aquecimento é que a temperatura global deverá variar em torno de 1,4 a 5,8°C nos próximos 100 anos (PINTO et al., 2004).

Deste modo, é válido salientar que o aquecimento global provocado pela emissão de gases de efeito estufa configura uma das maiores preocupações do meio científico. As previsões de modelos climáticos têm despertado a atenção e o interesse não apenas para as variações climáticas sazonais, mas também para os efeitos que possíveis mudanças climáticas podem ocasionar. Araújo (2012) esclarece sobre os Modelos de Previsão do Tempo (MNPT), que são diferentes em relação aos climáticos, pois executam previsões do tempo de até 15 dias, são simulações computacionais de processos na atmosfera visando prever o estado futuro da circulação atmosférica usando conhecimento de seu estado presente e aproximações numéricas das equações dinâmicas. Já os modelos climáticos são ferramentas de grande importância nos estudos de mudanças climáticas e bastantes utilizados na atualidade para medir o grau de alteração climática no mundo, assim como realizar projeções futuras para conter um provável avanço dessas alterações.

Apesar dos modelos climáticos serem ferramentas de grande importância no avanço da análise de cenários climáticos futuros, um considerável grau de incerteza ainda está associado às previsões das condições climáticas futuras, justamente pelos escassos estudos sobre modelagem de clima. Devido à insuficiência desse tipo de análise no nordeste do Brasil e da grande necessidade de estudos climáticos nas áreas de semiárido nordestino, tem comprometido as contribuições na elaboração de políticas de convívio e mitigação aos efeitos da seca.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) o Semiárido brasileiro será a região do país mais afetada negativamente pelas mudanças climáticas. Nesse sentido, a resiliência da caatinga às oscilações climáticas atuais ainda não foram devidamente investigadas e diferenciações marcantes de estudos entre áreas de Caatinga antropizada e preservada devem ser apoiadas com urgência. Diante desses fenômenos, é importante citar o Programa Ecológico de Longa Duração – PELD, do Ministério de Ciência e Tecnologia o qual está sob a coordenação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq que tem dado suporte para diversos estudos acerca dos ecossistemas brasileiros.

Este estudo aproveita a oportunidade e estrutura deste Programa e realiza pesquisa utilizando o modelo climático numérico regional, ETA climático (nome derivado da letra grega eta), do Centro de Previsão e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) para o município de Petrolina, no Sertão pernambucano. Esses dados foram rodados no laboratório de Meteorologia - LAMEP do Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, para caracterizar, analisar e efetuar a previsão de cenários climáticos futuros como apoio nas políticas de manutenção e preservação do bioma Caatinga frente às mudanças climáticas e antrópicas.

A área de estudo desse trabalho possui regimes climáticos com grande sazonalidade, com predomínio de chuvas no verão, além de possuir um bioma caracteristicamente brasileiro, a caatinga, o qual ainda é pouco estudado pelos pesquisadores do país. Essas características mostram a importância de se analisar cenários climáticos futuros para a região.

Com essa perspectiva de estudos de modelagem climática e diante do atual quadro de variações climáticas, o quarto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (2007) mostra que nos últimos 100 anos vêm acontecendo um progressivo aumento na concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera sendo provocado, principalmente, pelas atividades antrópicas. Essa concentração de gases de efeito estufa tem provocado alterações climáticas e, conseqüentemente, interferindo na conservação e preservação dos biomas brasileiros, principalmente no que diz respeito às alterações nos índices de chuvas e de temperatura.

Com isso, um dos biomas mais vulneráveis às alterações climáticas é a caatinga presente no semiárido nordestino devido ao intenso processo de evapotranspiração e déficit hídrico com grandes períodos de estiagem, além da intensa interferência antrópica na região. A Caatinga é considerada pelo Ministério do Meio Ambiente como um dos grandes biomas brasileiros, abrangendo 844 mil km² (SILVA et al., 2004). De acordo com Santos (2012) estudo que visa analisar tendências climáticas são de grande importância, uma vez que alterações no clima poderão influenciar os setores socioeconômicos e causar impactos ambientais.

O estudo consistirá em analisar cenários de mudanças climáticas simulados pelo modelo regional ETA – CPTTEC, e determinar cenários de mudanças climáticas para o município de Petrolina e validar esses dados simulados, por meio de análises comparativas com dados observados, a fim de fornecer informações climáticas para contribuir no planejamento de políticas públicas ambientais no semiárido pernambucano.

1.1 Justificativa

Mesmo com algumas incertezas estudos sobre as perspectivas de cenários futuros devido às mudanças climáticas em ecossistemas são ainda de extrema importância, pois, possibilita uma contribuição nos Planos e Políticas que visem minimizar os impactos dessas alterações nas atividades econômicas e sociais da região, assim como também na preservação e conservação dos biomas de florestas secas.

A escolha pela área de estudo é explicada pelo fato de ser uma área de alto índice de vulnerabilidade climática, uma vez que corresponde ao semiárido nordestino e que historicamente sofre com o fenômeno da seca, que acarreta transtornos na vida da população. Outra questão para esse tipo de pesquisa é a escassez de bibliografias sobre modelagem climática na região. Portanto, pretende-se também estimular mais estudos sobre o assunto, não só no município de Petrolina, mas em todo semiárido brasileiro. Além disso, Petrolina é uma área que vivenciou uma significativa transformação do seu espaço agrário depois de receber investimentos do Estado para o aprimoramento da sua atividade agrícola, portanto, torna-se uma área de grande interesse para estudos das interferências climáticas e antrópicas sobre o meio ambiente na região.

Espera-se obter informações sobre as possíveis interferências das ações antrópicas e variações climáticas sobre a disponibilidade hídrica no bioma Caatinga, assim como verificar os dados climáticos projetados e observados para uma possível validação do modelo climático ETA e geração de cenários climáticos futuros, uma vez que, segundo informações do ITEP, esse modelo é mais direcionado para projetos de pesquisas climáticas no Estado de Pernambuco. Esta pesquisa fortalecerá as ações da rede de pesquisa SERCAATINGA - SeCa, sitio 22 do Programa Ecológico de Longa Duração – PELD, principalmente, no que diz respeito ao planejamento de políticas públicas voltadas para a gestão e o monitoramento do ecossistema Caatinga.

Apesar da importância desse tipo de pesquisa para o planejamento climático em áreas vulneráveis, existem poucos estudos que apontem as reais consequências em longo prazo, nas perspectivas de cenários futuros, assim como a escassez de pesquisas na região do semiárido sobre modelagem climática. Estudar os impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica no bioma caatinga contribuirá no planejamento de medidas para conter o déficit hídrico principalmente para épocas futuras.

Diante de todos esses fatores, e partindo de uma visão global para uma local, uma das motivações para que este trabalho fosse realizado com direcionamento aos impactos das mudanças climáticas no bioma da caatinga no semiárido pernambucano é que historicamente,

esse ecossistema tem sofrido intenso processo de degradação ambiental, diversos tipos de ações antrópicas que têm propiciado o desmatamento e consequente processo de desertificação, comprometendo um dos maiores ecossistemas de floresta seca do mundo. Por conseguinte, há a necessidade de planejamentos para que esses recursos naturais sejam explorados pela população local de forma equilibrada e sustentável.

1.2 Hipótese de pesquisa

Os índices climáticos projetados até o ano de 2040, pelo modelo climático regional ETA, mostrarão tendências de redução ou aumento nas taxas pluviométricas e de temperatura para Petrolina.

O modelo climático regional, ETA, se mostrará adequado na análise da disponibilidade hídrica do bioma caatinga frente às possíveis mudanças climáticas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar os cenários de mudanças climáticas utilizando o modelo regional ETA- CPTEC, e aliar as tendências climáticas futuras para Petrolina e seus impactos sobre a disponibilidade hídrica no bioma Caatinga.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Utilizar cenários de mudanças climáticas através do modelo ETA;
2. Validar os resultados do modelo regional ETA da precipitação pluviométrica e temperatura mensal, assim como, da evapotranspiração potencial e real mensais através de comparações e correlações de dados observados e modelados para os anos de 2011 a 2013;
3. Comparar correlação do Índice de Área Foliar (IAF) com as precipitações observadas e modeladas para os anos de 2011 a 2013;
4. Gerar o balanço hídrico para a área em estudo com dados observados e estimados;
5. Determinar a tendência climática para a precipitação e temperatura até 2040 para a área de estudo.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em cinco capítulos. No Primeiro está a introdução. Que apresenta a hipótese, a justificativa da pesquisa sobre as mudanças climáticas, assim com o objetivo geral e os específicos.

No segundo capítulo encontra-se a fundamentação teórica, onde é feita a revisão da literatura, abordando conceitos e considerações sobre mudanças e variabilidades climáticas, a interferência antrópica na causa das mudanças climáticas, modelos climáticos e modelagem climática, conceitos sobre o bioma de caatinga e a sazonalidade no semiárido.

No terceiro capítulo está descrita a caracterização da área de estudo e o material e métodos apresentados na pesquisa.

O quarto capítulo se refere aos resultados e discussão, onde são apresentados os resultados do estudo, tendo como instrumento a análise dos dados climáticos apresentados e exportados do software GrADS para o editor de planilhas, o Excel e o Origin Pro onde os dados foram tratados e comparados com os dados observados. Posteriormente são discutidos os resultados obtidos, por meio de gráficos e balanços hídricos.

No quinto capítulo estão as conclusões e recomendações da pesquisa, apresentando as principais conclusões acerca dos resultados obtidos, avaliações e recomendações.

Por ultimo são apresentadas as referencias bibliográficas utilizadas para a construção da dissertação, incluindo artigos científicos, periódicos, teses, dissertações, livros, websites e demais fontes de informações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo encontram-se a revisão bibliográfica que baliza o campo teórico da pesquisa defendido por conceitos de mudanças climáticas. Introduz sobre modelagem climática, modelos climáticos numéricos, ecossistema de caatinga e vulnerabilidade de regiões semiáridas às alterações climáticas.

2.1 Mudanças Climáticas e Variabilidade do Clima

Como já mencionado, na atualidade, a temática sobre mudanças climáticas faz parte da pauta da maioria dos eventos sobre meio ambiente, tornando-se umas das maiores apreensões dos cientistas e pesquisadores de todo o mundo.

A Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma forma que períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades anormais de gases que formaram ao longo do tempo uma espécie de bolha gasosa sobre o planeta, criando um efeito estufa natural (MARENGO, 2006, p. 25). Contudo, a atividade humana é um dos fatores que contribui no aquecimento global, na variabilidade e extremos climáticos.

Sobre essa variabilidade climática Cordeiro, Souza e Mendoza (2008) afirmam que o clima no planeta oscilou significativamente nos últimos 65 milhões de anos, incluindo processos lentos (numa escala de 10^5 a 10^7 anos) de aquecimento ou de resfriamento impulsionados pela tectônica de placas; processos graduais (numa escala de 10^4 a 10^6 anos); e em casos raros processos abruptos (numa escala de 10^3 anos).

Segundo a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS (2006) este padrão de flutuação alterou-se, significativamente, desde a revolução industrial do século XIX, quando a Terra entrou em um processo de aquecimento em função do crescente acúmulo de gases, especialmente o CO_2 , na atmosfera do planeta, o que reforça mais ainda a teórica de influência antrópica sobre as alterações climáticas no planeta.

Os teores pré-industriais de dióxido de carbono, medidos de geleiras continentais são de 280 ppm. O nível atual é de 366 ppm, ou seja, o teor de dióxido de carbono sofreu um aumento nunca visto antes, demonstrando que algo muito incomum está acontecendo na contemporaneidade (SKINNER e PORTER, 2000). Estes autores continuam afirmando que os efeitos naturais das mudanças climáticas são lentos, geologicamente falando, ao serem comparados com a influência do homem. Apesar de a influência humana ocorrer dentro de um período geológico relativamente curto, o seu efeito acumulado e repentino pode ser mais

forte do que o de agentes naturais, mais lentos. Esses fatores são agravados pelo consumismo exacerbado que gera lucros, sempre sobrepujando o desenvolvimento sustentável.

Na verdade, desde a revolução industrial em meados do século XVIII, no Reino Unido, a Terra vem sofrendo desgastes significativos provocados pelas ações indiscriminadas das indústrias. Não mais se extrai dela o necessário para o consumo no sentido de sobrevivência, mas o excedente, visando lucro incessante, ignorando as necessidades das gerações futuras e a possibilidade de tal exploração resultar no comprometimento da vida na Terra. Como consequência o mundo entra em uma grave crise ambiental (SILVA et. al., 2012, p. 31).

Sobre esse fenômeno o Greenpeace (2006) afirma que ou a humanidade adota padrões sustentáveis de produção e consumo, ou leva o planeta a um colapso. Ainda segundo a instituição, existe atualmente um consenso entre os cientistas quanto à necessidade de manter a temperatura média da terra variando em no máximo 2°C em relação aos níveis pré-industriais, ultrapassando esse limite, o sistema climático poderá entrar em desequilíbrio em função do aquecimento global com consequências em larga escala.

Para o IPCC (2007), a terminologia mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima durante um considerável período de tempo, independentemente se for uma variação natural ou resultado das atividades humanas. Através do relatório divulgado por este, estima-se uma probabilidade maior que 90% que a ação antrópica sobre a natureza seja a principal responsável pelas variações climáticas, que se tornaram cada vez mais intensas nos últimos anos, sendo denominadas atualmente de mudanças climáticas.

Ainda de acordo com o IPCC (2007) é muito provável que haja aumento dos dias quentes, das ondas de calor em quase toda a superfície terrestre e da temperatura mínima diária. Esse fenômeno já está ocorrendo na América do Sul. Marengo (2006), alerta que se considerarmos um cenário catastrófico, o planeta irá aquecer variando em torno de 6°C. No cenário mais otimista será em torno de 2°C, o que demonstra que o globo irá aquecer de toda forma, mas que é imprescindível o controle das emissões de gases de efeito estufa para que esse aquecimento fique menor que o previsto.

Além disso, ainda segundo indicado pelo quarto relatório do IPCC (2007), mudanças generalizadas nas temperaturas extremas já foram observadas ao longo dos últimos 50 anos, dias frios, noites frias e geadas se tornaram menos frequentes, enquanto que dias e noites quentes e ondas de calor se tornaram mais frequentes. Contudo, uma análise de 50 anos ainda é muito curta quando se trata de clima, o que torna certas previsões ainda imprecisas. Todavia, deve-se levar em conta a análise espaço temporal de curto prazo para se entender as variações e/ou oscilações climáticas.

Pode-se constatar sobre as mudanças climáticas que a temperatura média e o teor de dióxido de carbono estão em ascensão mundialmente, assim como os diversos eventos extremos climáticos como enchentes e secas severas, uma vez que o homem está contribuindo para o aumento natural do dióxido de carbono causado pelas indústrias, desmatamentos, queimadas e mau uso do solo, influenciando consequentemente no aumento da temperatura, alteração no albedo e mudanças químicas, interferindo na composição da atmosfera (LOMBARDO, 1994).

O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e mais ainda às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos extremos climáticos. As áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil, como mostrado em estudos recentes (Marengo, 2007; Ambrizzi et al., 2007; Marengo et al., 2007). Ainda segundo estes pesquisadores, o caso do semiárido nordestino é bem preocupante, uma vez que este tenderá a tornar-se mais árido. Aumentarão a frequência e a intensidade das secas e se reduzirá a disponibilidade de recursos hídricos. Isso teria impacto sobre a vegetação, a biodiversidade e atividades que dependem dos recursos naturais.

Salienta-se que os efeitos das variações climáticas serão sentidos em todos os âmbitos. As possíveis mudanças climáticas poderão acarretar significativos impactos nos setores natural, social e econômico, assim como, os extremos do clima associados à temperatura e precipitação poderão também afetar o consumo de energia, conforto humano e turismo (SANTOS et. al., 2009, apud SANTOS, 2012, p. 91).

Além disso, o clima é importante determinante ambiental, uma vez que favorece diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas. Portanto, uma possível mudança climática poderá acarretar diferentes impactos sobre os ecossistemas, uma vez que o aumento de temperatura pode forçar a migração de diferentes espécies das altas e médias latitudes para latitudes mais baixas e vice-versa (SANTOS et al., 2009, apud SANTOS, 2012).

Dessa forma, tais alterações do clima influenciam em termos de variação do comportamento hidrológico e na modificação de elementos naturais que proporcionam condições de sustentabilidade ao meio natural tais como: a fauna e a flora, originando, através dessas alterações, diferentes ambientes a partir das transformações ocorridas ao longo do tempo nos padrões de umidade, temperatura e precipitação (TUCCI e MENDES, 2006; ALLAN, 1995).

No caso, da área de estudo, o município de Petrolina, essas alterações climáticas podem ocasionar um êxodo rural intenso para as áreas urbanas, contudo, muitas cidades não possuem estruturas suficientes para receber um grande contingente de refugiados do clima, uma vez que essas possuem problemas socioambientais fortes e presentes em todos os setores da economia.

A variabilidade climática no Nordeste brasileiro é bastante influenciada pelo fenômeno El Niño, associado a grandes eventos de secas na região, o que ocasiona grandes prejuízos às populações dessas áreas. Sobre essa variabilidade climática Marengo (2006) relata que no semiárido nordestino, em particular as situações de seca, sempre foi sinônimo de agruras nas populações rurais do interior da região, e tem sido objeto de preocupações da sociedade e organismos do governo ao longo de anos. A prova disso são as construções dos primeiros reservatórios hídricos no final do século XIX, durante o período imperial. Ciclos de fortes estiagens, secas e enchentes costumam atingir a região em intervalos que vão de poucos anos até décadas, visto que colaboram para desarticular de vez as já frágeis condições de vida da população que vive no semiárido, em particular pequenos produtores e comunidades pobres (MARENGO *et. al.*, 2011, p.384). O autor ainda ressalta que a água se tornará um bem escasso e trará sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional, afetando até mesmo a geração de energia hidroelétrica na bacia do rio São Francisco.

Deste modo, ainda na atualidade, esses grandes períodos de estiagem continuam a ser uma grande preocupação das políticas públicas e de projetos de investimentos para mitigação dos efeitos da seca dos estados nordestinos. Contudo, não apenas a seca ocasiona transtornos no semiárido. Enchentes também são causas de grandes perdas econômicas e sociais. Marengo (2006) ainda aborda sobre essa problemática, citou a enchente do ano de 2004, onde em apenas um mês, caíram mais de 1000 mm de chuva. Enquanto que a sua média é de 550 a 600 mm anuais. Comunidades ficaram isoladas, casas, barragens e açudes foram destruídos, houve morte de pessoas e de animais e perda de produção, tudo isso apenas no mês de janeiro. Outro problema que o semiárido padece sobre as questões climáticas são as altas temperaturas e consequente aumento da evapotranspiração. As tendências apontam aumentos dessas temperaturas devido ao efeito antrópico associado ao crescimento das cidades e às mudanças no uso da terra que têm afetado sensivelmente o clima na região, interferindo na variabilidade do clima.

No Brasil, o espaço geográfico mais vulnerável aos efeitos da desertificação e das mudanças climáticas é a região Semiárida. Essa região, compreendendo 969.589,4 km² ou 11% do território nacional, é caracterizada pelas elevadas médias anuais de temperatura (27 °C) e

evaporação (2.000 mm), com baixas precipitações ao ano, concentradas e irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. Solo raso, com afloramentos de rocha e chão pedregoso. Decorre da combinação desses elementos um balanço hídrico negativo em grande parte do ano, presença de rios e riachos intermitentes e ocorrência de secas periódicas e avassaladoras (LIMA, et al., p.06).

Essas características naturais citadas contribuem para que os efeitos do clima sejam mais severos para a população das regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. O Estado de Pernambuco tem enfrentado muitos efeitos adversos devido aos fenômenos climáticos, principalmente na região do semiárido onde os efeitos da seca são mais severos. Devido a isso, os órgãos governamentais elaboraram um Plano Estadual de Enfrentamento às mudanças climáticas, com ênfase nas áreas mais vulneráveis às sequelas do clima.

2.1.1 Plano Estadual de Mudanças Climáticas

O Estado de Pernambuco visa formular e fortalecer o avanço de suas políticas públicas para assim, viabilizar de forma coordenada, a promoção e a execução de medidas locais de mitigação e de adaptação às novas realidades decorrentes das mudanças climáticas. O principal objetivo do Plano Estadual de Mudanças Climáticas é fundamentar, democratizar e orientar a implementação da Política Estadual de Mudança Climática (PERNAMBUCO, 2011).

Pernambuco trilhou um caminho para estabelecer sua Política de Enfrentamento às mudanças climáticas. Em 2008, foi criado um Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas (Decreto nº 31.507/2008) e de seu Grupo Executivo, seguido do Fórum Estadual de Mudanças Climáticas (Decreto nº 33.015/2009). Ambos contam hoje com a participação de cientistas e pesquisadores de diversos centros internacionais, nacionais e estadual, voltados para o monitoramento do clima e seus efeitos em Pernambuco (PERNAMBUCO, 2011).

As regiões do Agreste e Sertão apresentam grande pressão antrópica sobre os recursos naturais, especialmente os recursos florestais, onde a Caatinga tem sofrido impactos ambientais significativos sobre sua fauna e flora. A ação do homem se processa com intensidade, resultando em áreas degradadas para consumo de lenha (Região do Araripe: diagnóstico florestal, 2007).

O Estado de Pernambuco é considerado pelo IPCC (2007) um “*hot spot*” (ponto quente) mundial em relação às mudanças climáticas, sendo um dos Estados mais vulneráveis do Brasil aos efeitos das mudanças climáticas, com um Sertão castigado pelo fenômeno da

seca. Esse cenário exigiu do Governo Estadual, o compromisso de desenvolver Políticas Públicas Ambientais e a promoção de ações que favoreçam a capacidade de resiliência dos sistemas naturais, das cidades e da qualidade de vida da sociedade.

Em 17 de junho de 2010, a Lei Estadual nº 14.090/2010 institui a “Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas” e a Lei 14.091 institui a “Política Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação aos Efeitos da Seca”. Medidas essas, importantes para o combate e enfrentamento das mudanças climáticas e recuperação de áreas degradadas.

De acordo com Pernambuco (2011), a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Pernambuco, foi construída e orientada com os seguintes princípios:

- abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais;
- precaução ambiental como orientadora das ações a serem adotadas;
- mitigação das ações humanas que possam favorecer a aceleração das mudanças no clima;
- publicabilidade sobre o tema através da informação transparente, científica e democrática;
- abordagem do tema numa perspectiva científica com inter, multi e transdisciplinaridade;
- utilização da ciência e da tecnologia com o fator de adaptação social às mudanças climáticas;
- mudança de práticas no modo de vida social e nos processos produtivos, que preparem a sociedade para novas realidades na relação com o meio ambiente;
- preparação para o enfrentamento a eventos climáticos extremos;
- criação de instrumentos e o desenvolvimento de ações para uma maior resiliência social.

A Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas tem por objetivo garantir à população que o Poder Público promova os esforços necessários para aumentar a resiliência da população pernambucana à variação e às mudanças climáticas em curso, bem como contribuir com a redução das concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera em níveis não danosos às populações e aos ecossistemas, assegurando o desenvolvimento sustentável (PERNAMBUCO, 2011).

A proposta para as metas gerais do Plano Estadual de Mudanças Climáticas foi concebida através da definição dos seus componentes, eixos temáticos e áreas de atuação, buscando determinar ações para o implemento da Política de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de forma conectada com as demais políticas públicas ambientais de Pernambuco (figura 01).

Figura 01: Esquema da Proposta para Metas Gerais do Plano Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de Pernambuco



Fonte: Pernambuco, 2011

Analisado a figura 01 é imprescindível reconhecer para a região de semiárido que a luta contra a desertificação contribui com vários benefícios socioambientais locais e até globais, ajudando a diminuir a perda de biodiversidade e a atenuar a mudança climática global de origem antrópica. Neste contexto, as ações de enfrentamento à desertificação em Pernambuco têm como foco minimizar as vulnerabilidades do Estado na região do semiárido, com planos de mitigação e adaptação aos efeitos da seca.

2.2 Modelos de Previsão do Tempo, Climáticos Globais e Climático Regional

Modelos de previsão numérica têm se tornado uma importante ferramenta nos estudos climáticos, transformando-se em suporte para previsões climáticas, como também auxiliando na geração de cenários climáticos futuros, o que proporciona um maior conhecimento sobre uma possível mudança climática, tanto a nível global quanto regional. Moura et al. (2010) explica que os modelos numéricos de tempo são ferramentas essenciais para a previsão de curto e longo prazo, permitindo realizar a previsão com vários dias de antecedência. Já Tomé (2004) afirma que um modelo de previsão numérica do tempo é um modelo de computador desenvolvido para simular o comportamento da atmosfera. Este resolve um sistema complexo de equações matemáticas baseadas em leis físicas de modo a prever o estado futuro da

atmosfera partindo de condições iniciais específicas. Lopes (2005, p.32) explica que os modelos de simulação climática são modelos de simulação matemática que descrevem a ocorrência de elementos climáticos e tem por objetivo simulação de um conjunto de dados com as mesmas características estatísticas de série histórica, e consequentemente são bastante utilizados em trabalhos de pesquisa e extensão no mundo.

Nesse grau de importância, Marengo (2006, p. 19) fala sobre o uso dos modelos de clima como sendo ferramentas comumente adotadas para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras, que podem ser: Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs).

O autor ainda reforça que esses modelos numéricos provêm de uma visão tridimensional do sistema climático, descrevendo os principais processos físicos e dinâmicos, assim como as interações entre as componentes do sistema climático e os mecanismos de retro-alimentação (*feedbacks*) entre os processos físicos, podendo simular climas futuros em nível global e regional como resposta a mudanças na concentração de gases de efeito estufa e de aerossóis.

Os modelos climáticos podem ser classificados segundo a sua escala espacial dentro da qual a previsão é feita. Sobre essa classificação Tomé (2004, p.05) explica a diferença entre os do tipo global e regional: o global possui resolução acima de 200 km e visa identificar o comportamento geral da atmosfera sobre uma área extensa. Estes modelos são apenas capazes de identificar fenômenos meteorológicos de larga escala (ditos sinóticos); já o regional ou local possui resolução espacial de alguns metros a 50 km e visa identificar com maior detalhe o comportamento da atmosfera sobre uma região específica, sendo capazes de identificar fenômenos meteorológicos de pequena escala (ditos de mesoescala). Portanto, para análise de climas locais o uso de modelos regionais em detrimento aos globais são mais indicados.

Entretanto, o uso de modelos climáticos para fins de geração de cenários climáticos futuros ainda é bastante questionado pelos cientistas da área, surgindo duas correntes, a dos defensores e dos críticos quanto ao uso de modelos.

Para solucionar e obter as informações meteorológicas são usados modelos numéricos, tanto para fazer prognóstico, como analisar as variáveis meteorológicas no tempo e espaço. Entretanto, existem limitações dos modelos numéricos como fins computacionais, suas parametrizações, escassez de dados das redes meteorológicas para alimentá-la entre outras (SILVA et al., 2010) . Com isso, Moura et al. (2010, p. 47) ainda relata que as previsões dos modelos apresentam erros sistemáticos decorrentes da representação dos processos físicos

atuantes e das condições de fronteira e inicial utilizadas nos modelos, principalmente nos períodos de transição de uma estação para outra. Além disso, uma das grandes críticas aos modelos é referente aos eventos extremos, onde muitos não conseguem captar os sistemas intensos. Para análises de climas locais o mais indicado é o uso de modelos climáticos regionais em detrimento dos globais. Lopes (2005) cita três principais fontes de erros no processo de modelação, são eles: erros dos parâmetros; erros de entrada de dados; e erros estruturais do próprio modelo. Atualmente, existe uma grande demanda por profissionais que estudem esses erros e elaborem soluções para calibração e correção dos erros de modelagem.

A maior parte dos dados modelados é baseada nos cenários de emissão utilizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), o qual afirma que é muito provável que a maior parte do aumento observado nas temperaturas globais desde meados do século XX se deva ao aumento observado nas concentrações antrópicas de gases de efeito estufa (IPCC, 2007).

No entanto, segundo Marengo (2009) o Quarto Relatório do IPCC (IPCC, 2007) projetam para o futuro, ainda com algum grau de incerteza, possíveis mudanças em extremos climáticos, onde os fenômenos podem ser atribuídos a dois fatores: variabilidade natural do clima, mudanças no uso da terra, aquecimento global, aumento da concentração de gases de efeito estufa e aerossóis na atmosfera.

Na Amazônia e no Nordeste, ainda que alguns modelos climáticos globais do IPCC-AR4 apresentem reduções drásticas de precipitações, outros modelos apresentam aumento. A média de todos os modelos, por outro lado, indica maior probabilidade de redução de chuva em regiões como Amazônia Oriental e Nordeste, em consequência do aquecimento global (MARENGO, 2009, p. 415).

As projeções para a temperatura do ar são mais reveladoras e a consistência entre os modelos é maior. No cenário de emissão otimista B2 (descrevem um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental), o aquecimento anual pode variar em torno de 3°C no Brasil e, no cenário de emissão pessimista A2 (descrevem um mundo muito heterogêneo, os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população), até 25°C na parte sul da Amazônia, e em todo o Brasil o aquecimento varia entre 3°C e 5°C, sendo mais intenso na região tropical (IPCC, 2007a).

Com isso o IPCC (2007) ressalta que os avanços na modelagem da mudança do clima agora permitem melhores estimativas e prováveis faixas de incerteza avaliada para o aquecimento projetado para diferentes cenários de emissões. Comparando-se os resultados

dos modelos globais com os regionais, estes apresentam maior precisão em suas projeções quando se compara com os dados observados. Segundo Lopes (2005) que os estudos da modelagem do clima têm demonstrado grande utilidade em muitas áreas, pois, permitem, a um baixo custo, a obtenção de informações a respeito do clima local, permitindo, através de simulações, avaliar a sua influência tanto nos processos naturais como nos decorrentes da intervenção humana.

Sobre os efeitos antrópicos, a degradação ambiental tem interferido nesse aumento da temperatura e na redução das chuvas. As precipitações modeladas variam muito entre os Modelos de Circulação Global (GCMs) e entre cenários de emissões (GIORGI et al., 2001, apud FEARNside, 2003). A diminuição da precipitação foi prevista pela maioria dos modelos. Temperatura e precipitação, com relação às plantas, possuem importante correlação, pois se a temperatura aumenta as exigências das plantas por água crescem. Consequentemente, eleva o estresse hídrico reduzindo substancialmente a precipitação (CORDEIRO, SOUZA, MENDONZA, 2008).

Entretanto, Marengo (2009) relata que em relação à precipitação, as análises observacionais do clima presente não apontam uma tendência de redução de chuvas, e sim variações interdecenais de períodos relativamente mais secos ou chuvosos no Brasil, a exemplo do que ocorre na Amazônia e no Nordeste. Contudo, as chuvas estão cada vez mais violentas, apesar de o total anual precipitado não ter sofrido modificação perceptível e as secas cada vez mais severas, o que ressalta a influência dos extremos no território brasileiro.

Araújo (2012, p 62) esclarece que os Modelos de Previsão do Tempo (MNPT), assim como os climáticos, são simulações computacionais de processos na atmosfera visando prever o estado futuro da circulação atmosférica usando conhecimento de seu estado presente e aproximações numéricas das equações dinâmicas. Portanto, são ferramentas de grande importância nos estudos de mudanças do tempo e clima.

Sobre a resposta dos modelos em relação a temperatura, Lombardo (1994) traz informações importantes acerca do uso de modelos climáticos, fazendo uma associação entre os gases de efeito estufa e as previsões de aumento da temperatura dos modelos. A autora afirma que estes modelos geralmente preveem aumento de temperatura com a duplicação do CO₂, de 300 a 600 ppm. Neste caso, o aumento da temperatura varia de 1,5 a 4,5 °C acima do nível pré-industrial. Ainda segundo a pesquisadora, maioria dos modelos prevê aumento acima de 3°C.

Entretanto ela relata que os modelos sofrem algumas limitações como: resoluções espaciais e temporais limitadas. Por esta razão, processo importante como a troca de calor e momento entre a superfície terrestre e a

atmosfera tende a ser parametrizados; processo não lineares, em particular, advecção, são representados por aproximações lineares; modelagens de mecanismos sinérgicos, como o das nuvens, radiação e circulação de grande escala (LOMBARDO, 1994, p. 04).

Ainda sobre o desempenho dos modelos, Meira (2010) afirma que devido à natureza caótica da dinâmica da atmosfera, não há previsões de tempo ou clima perfeitas em termos quantitativos exatos, portanto é imprescindível a precisão dos dados analisados para que não se propaguem erros nas previsões meteorológicas.

Apesar das limitações apresentadas para o uso de modelos climáticos, estes ainda são muito importantes no estudo climático, pois permite a um baixo custo a obtenção de informações a respeito do clima, através de simulações, avaliar a sua influência tanto nos processos naturais como nos processos antrópicos, assim, será utilizado no presente trabalho para fins de conhecimento e validação desse tipo de análise climática.

Os modelos regionais fornecem mais detalhes sobre a distribuição e a intensidade nas mudanças de temperatura e precipitação no Brasil e na América do Sul. Marengo (2009, p. 416) relata que as incertezas ainda são grandes, pois há diferenças em relação às análises dos modelos globais do IPCC-AR4. Sobre essas incertezas dos modelos utilizados pelo IPCC destacam-se: incerteza nas emissões futuras de gases de efeito estufa e aerossóis e das atividades vulcânicas e solares que afetam o forçamento radioativo do sistema climático; incerteza na inclusão de efeitos diretos do aumento de CO₂ atmosférico nas plantas e do efeito de comportamento das plantas no clima futuro; incerteza na sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos, devido às diferentes formas em que cada modelo de circulação geral da atmosfera representa os processos físicos e os mecanismos do sistema climático.

Neves et al. (2011) esclarece que os modelos regionais são ferramentas que permitem verificar com mais detalhes os aspectos da interação superfície-atmosfera. Sobre essa afirmativa Marengo (2006) ressalta a importância do uso do modelo regional devido a ordem de sua resolução.

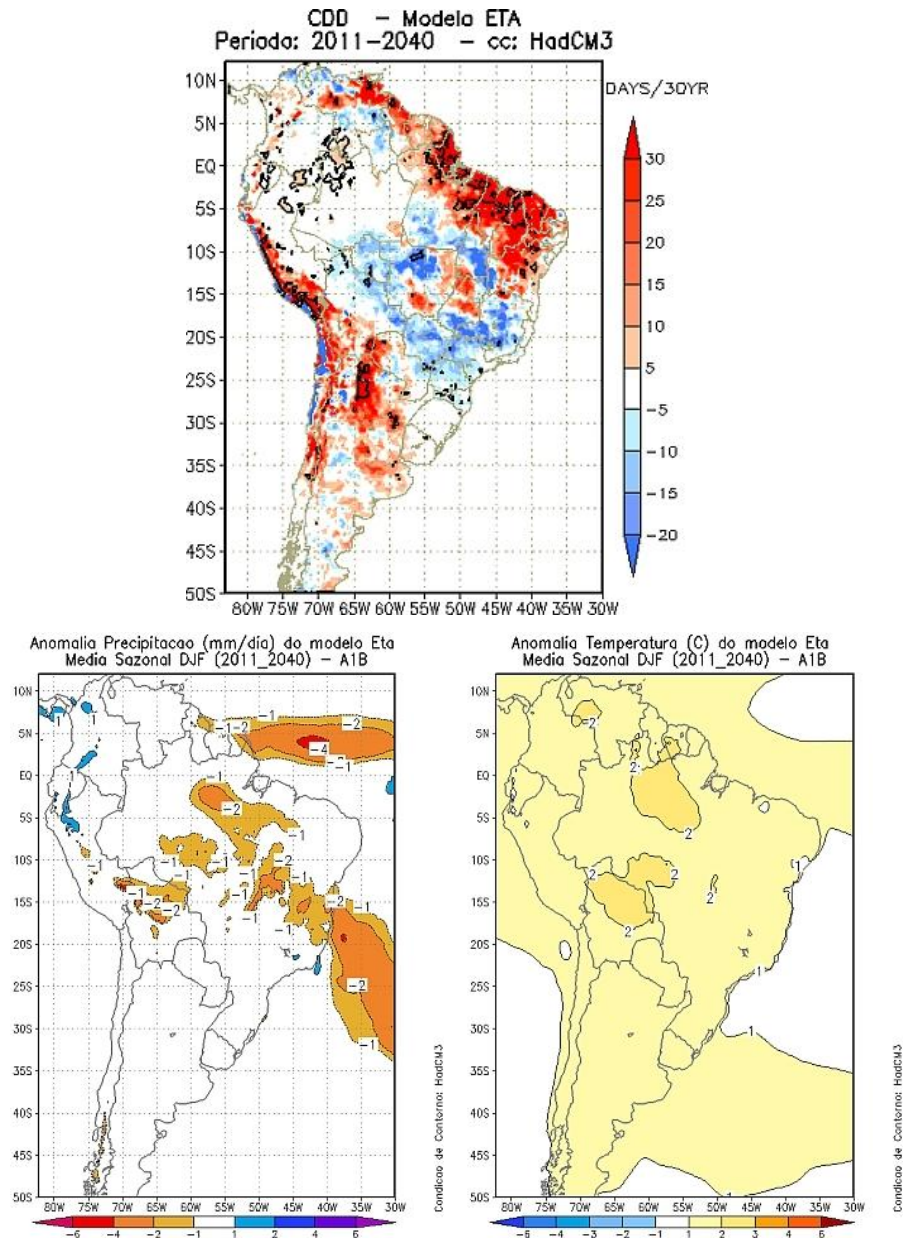
A habilidade dos AOGCMs em simular climas regionais vai depender da escala horizontal (ou resolução), e as respostas seriam mais restritas se fossem utilizados modelos globais com resolução da ordem de 300-400 km em relação ao uso de modelos regionais, que apresentam uma resolução na ordem de 10-50 km (MARENGO, 2006, p. 20).

Dessa forma, segundo Marengo (2006), em razão da dificuldade que os modelos têm para representar adequadamente as características do clima regional, a experiência brasileira

mostra a necessidade de se ajustar os métodos aplicáveis aos cenários de mudança do clima resultantes de modelos globais para projeções de escopo regional ou local. Nesse sentido o modelo regional ETA-CPTEC foi executado como parte das análises de impacto e avaliações de vulnerabilidade necessária para a preparação da Segunda Comunicação Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil ao Quadro Nacional *United Climate Change Convention* (UNFCCC). As projeções de mudanças climáticas regionais futuras a América do Sul para o cenário A1B derivado do ETA-CPTEC aninhado ao modelo HadCM3-ETA-CPTEC/HadCM3 (CHOU, et.al., 2011).

Uma nova geração de cenários climáticos futuros para a América do Sul foi gerada em 2010. Essa nova geração utiliza uma versão mais aprimorada do modelo ETA-CPTEC, com resolução mais refinada e projeções para o horizonte de 2011 a 2100, cenário de emissões intermediário A1B, as quais são necessárias para estudos de impactos e vulnerabilidade no curto, médio e longo prazos - 2010-2040; 2041-2070; 271-2100 (MARENGO, 2011). A1b é um cenário que descreve um mundo convergente com a mesma população global onde ocorre a introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental (PITA, 2011). O presente trabalho utiliza dados da primeira fase do cenário de precipitação e temperatura, em curto prazo, iniciando em 2011, uma vez que o ano de 2010 não foi analisado por se tratar do ano de adaptação e calibração do modelo para a região, conforme ilustrado na Figura 02.

Figura 02: Campos ilustrativos de tendência do modelo ETA-HADCM, no período de 2011-2040.



Fonte: <http://pnud.cptec.inpe.br/>

A versão do modelo ETA que roda operacionalmente no CPTEC/INPE é hidrostático com resolução horizontal de 40 km, além de outros de 20 km, ambas as resoluções com 38 camadas na vertical, e cobrem praticamente toda a América do Sul (Moura et al. 2010). Utiliza-se a técnica de downscaling que segundo Marengo (2006, p20) é uma técnica que consiste na regionalização dos cenários climáticos obtidos por modelos globais usando modelos regionais (downscaling dinâmico).

O nome do modelo ETA, deriva da letra grega (eta), que indica a coordenada vertical (MESINGER, 1984). O modelo de área limitada ETA, ou seja, de mesoescala, foi

desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, e se tornou operacional no *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) (MESINGER et al., 1988). Esse modelo foi instalado no CPTEC/INPE em 1996 com o fim de complementar a previsão numérica de tempo que vem sendo realizada desde o início de 1995 com o modelo de circulação geral atmosférica, assim como, estimar com maior grau de confiabilidade, sistemas organizados em mesoescala (ALVES, et al. 2000).

O motivo da escolha do modelo regional ETA climático para essa análise é que os dados originados do modelo estão sendo utilizados pelo governo do Estado de Pernambuco para estudos sobre como o clima tenderá a se comportar daqui a alguns anos, tentando prever situações atmosféricas e como interferirá no meio ambiente e na vida da população, dessa forma é interessante o diagnóstico da precisão e eficácia do modelo, principalmente no que concerne à disponibilidade hídrica no bioma Caatinga.

De acordo com Chou (2014), o modelo regional se propõe a prever com maiores detalhes fenômenos associados a frentes, orografia, brisa marítima, tempestades severas, etc., enfim, sistemas organizados em mesoescala. Devido a maior não linearidade dos sistemas nesta escala, a previsibilidade é menor e as previsões são de curto prazo. Contudo a autora afirma que os modelos numéricos estão em contínuo desenvolvimento; parametrizações de vários processos físicos (vegetação dinâmica, acoplamento com modelo oceânico; representação de áreas inundáveis, lagos; inclusão de gases de efeito estufa; esquemas de produção de chuva) e resolução espacial. Ou seja, esse tipo de modelo deve estar em frequentes processos de calibragem nas pesquisas para geração dos cenários climáticos.

Diante do exposto, apesar da existência de inúmeros modelos de previsão e projeções climáticas, existe ainda grande grau de incerteza quanto às suas eficácias, sendo necessária a realização de vários estudos para que se possam validar dados climáticos modelados. Portanto, validar os dados modelados será sempre um suporte a mais para as pesquisas que utilizam modelos numéricos nos estudos climáticos.

2.3 Caatinga: sazonalidade do ecossistema

Único bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga ocupa uma área de 734 km² (10% do território nacional), cobre a maior parte dos estados da região Nordeste e parte do nordeste do estado de Minas Gerais. Apresenta riqueza genética por sua alta biodiversidade (OLIVEIRA, LINS, TABATCHNIK, 2011). A Caatinga é um mosaico de arbustos espinhosos com florestas sazonalmente secas, é uma palavra de origem indígena, que significa “mata branca, mata aberta” refere-se ao aspecto dessa vegetação típica de clima semiárido, notadamente durante a estação seca, não se tratando de uma formação vegetal homogênea (GALVÍNCIO, DIAS, 2013).

O bioma de caatinga por ser exclusivamente brasileiro tem um destaque entre os ecossistemas brasileiros e estudá-lo é imprescindível para contribuir na sua conservação e preservação, contudo, apesar dessa característica exclusivamente nacional, é ainda um bioma pouco estudado no Brasil. Possui propriedades bem peculiares devido ao clima presente na região, o que faz a vegetação se adaptar aos rigores climáticos.

O bioma de caatinga abrange as especialidades do domínio Morfoclimático das caatingas, sejam elas arbustivas ou arbóreas. Desde o começo do século XX já se sabe que esse tipo singular de vegetação xerófila tropical, somente encontrada nessa parte do Nordeste, está referido à sua capacidade das plantas ali existentes perderem as folhas na estação seca. Característica essa que corresponde a um mecanismo de defesa das plantas contra a alta transpiração (PAN Brasil, 2005, p.40).

Aubréville (1961, apud ALVES, ARAÚJO E NASCIMENTO, 2008) aponta a caatinga como sendo um termo fitogeográfico genérico designando o conjunto de todos os tipos de vegetação que recobrem a região semiárida do Nordeste brasileiro, caracterizado pela caducidade das folhas durante a estação seca e presença frequente ou abundante de arbustos espinhentos e de grandes cactáceas.

Faz parte da área de predomínio de clima semiárido mais povoado do planeta, Na região semiárida vivem aproximadamente 25 milhões de brasileiros (LIMA et al., 2011). Mais um fator de destaque para que se estudem os impactos causados pelo homem no citado bioma. Segundo o IPCC (2007) o semiárido nordestino será muito afetado pelas alterações climáticas nos próximos anos, onde a interferência antrópica pode contribuir no agravamento do problema da seca na área em decorrência ao mau uso do solo e das mudanças climáticas. Ainda sobre as interferências antrópica no bioma:

Trata-se de um dos biomas mais ameaçados do Brasil, com grande parte de sua área já tendo sido bastante modificada pelas condições extremas de clima, observadas nos últimos anos e, potencialmente, são muito vulneráveis

às mudanças climáticas, resultados de experiências de modelagem de vegetação associadas aos cenários de mudanças de clima e altas emissões (MARENGO, 2011, p. 411).

Sobre a questão Alves, Araújo e Nascimento (2008) afirmam que nos últimos 15 anos aproximadamente 40.000 km² se transformaram em desertos devido à interferência do homem na região. Também segundo os autores citados, a intervenção humana vem provocando desequilíbrios ecológicos no bioma de grande variabilidade. As tradições da população local têm forte influência no uso da Caatinga, onde a sua utilização ainda se fundamenta em processo meramente extrativistas para produção de produtos de origem pastoril, agrícola ou madeireira.

Além disso, o aumento de áreas de pastagem para pecuária, por meio de queimadas, vem causando pressão no ecossistema e transformações muitas vezes irreversíveis. A agricultura itinerante e a exploração madeireira são outros fatores antrópicos que têm causado sérios danos à vegetação. Sobre o antropismo predatório na caatinga, Marengo (2011) ressalva fatos importantes como: quando a agricultura começou a se estender na região semiárida do nordeste do Brasil, a maior parte da área ocupada por imensas fazendas de criação de gado, utilizando-se do pasto nativo (caatinga), com pequenos subsistemas de roçados para alimentação dos trabalhadores que era extremamente vulnerável às condições ambientais, ocorrendo um intenso processo de devastação da caatinga.

Segundo o Greenpeace (2006, p.27) em função da severidade climática e do desmatamento para uso agropecuário, vem aumentando a área de caatinga baixa e rala na região. Ainda de acordo com a instituição e outros autores como Salazar *et. al.* (2007); Oyama e Nobre (2003) a caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas com predominância de cactáceas, até finais do século XXI, além do aumento do déficit hídrico devido às mudanças climáticas.

Sobre os efeitos das mudanças climáticas na vegetação, Cordeiro, Souza e Mendonza (2008, p.03) relatam que a vegetação é intimamente dependente do clima e vice e versa, com as mudanças climáticas, principalmente no que se refere à alteração no balanço hídrico e à variação de temperaturas fora dos padrões normais, veem causando grandes modificações não só nos limites dos biomas, como também na distribuição e sobrevivência das espécies dentro destes. Com isso, determinar o impacto das mudanças climáticas em ecossistemas diversificados e como esses impactos interferem na disponibilidade hídrica no bioma Caatinga é fundamental para elaboração de políticas e medidas que contenham o avanço da variação climática.

Nobre et al.(2007, p.20) explica que o aumento da temperatura induz a uma maior evapotranspiração, reduzindo a quantidade da água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Estes autores afirmam que, pode desencadear a substituição dos biomas existentes hoje por outros mais adaptados a climas com menos disponibilidade hídrica para as plantas, podendo inclusive a Caatinga ser substituída por semidesertos.

O bioma de Caatinga como muitos biomas brasileiros sofre grande impacto das ações antrópicas como desmatamentos e queimadas, pois as condições de vida da população rural das regiões de semiárido são em alguns casos muito precárias, o que tem se agravado com a situação climática do semiárido. Ainda como citado anteriormente, Oyama e Nobre (2003) revela que o futuro da distribuição de biomas na América do Sul poderá ser afetado pela combinação dos impactos da mudança climática e da mudança no uso da terra, que pode levar à desertificação do Nordeste brasileiro.

Dados coletados por Candido (2002) indicaram, por exemplo, alto grau de degradação no Seridó o que tem ocasionado sérios problemas socioambientais. Muitos habitantes não conseguiram mais viver da agricultura e passaram a trabalhar em olarias, depredando a cobertura vegetal e os recursos do solo. O que pode ser chamado de antropismo predatório, ou seja, a utilização de terras em grau de intensidade superior à sua capacidade de suporte (PAN Brasil, 2005, p. 25).

Com isso é importante levar em conta um semiárido mais árido e o aumento da frequência de ocorrência das secas, a base da sustentação para as atividades humanas diminuirá, sendo provável que aumente o deslocamento da população para as grandes cidades ou para áreas nas quais seja possível desenvolver a agricultura irrigada (MARENGO, 2011). Esse fenômeno pode ser grande transformador do espaço rural, gerando problemas econômicos e sociais difíceis de serem solucionados.

2.4 Evapotranspiração

O termo evapotranspiração foi proposto por Thornthwaite (1944) para representar ambos os processos, evaporação e transpiração, que ocorrem de maneira natural e simultânea em uma superfície vegetada (PEREIRA et al., 2002). Ela é fortemente influenciada por fatores da vegetação, de manejo de solo e gestão das condições ambientais e, principalmente, por parâmetros que dizem respeito ao tempo como: radiação solar, temperatura da superfície, temperatura e umidade relativa do ar e a velocidade do vento (ALLEN et al., 1998; PEREIRA et al., 2002; SANTOS, 2009). É um processo dinâmico da água que ocorre no sistema solo-planta-atmosfera, a partir do momento em que a água é aplicada natural (através da chuva)

e/ou artificialmente (através da irrigação) sobre um cultivo agrícola. Portanto, toda água que entra pela planta e participa de seus processos metabólicos, incluindo a fotossíntese, faz parte da constituição dos seus tecidos e é transpirada por ela. É um dos principais efeitos benéficos da vegetação, compreendendo as perdas associadas de água, que ocorrem pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração da planta (OLIVEIRA et al., 2013).

A evapotranspiração, em termos de quantidade de água transportada em bacias, é o segundo componente mais importante do ciclo hidrológico depois da precipitação, possuindo um papel significativo no contexto climático e na resolução de problemas de manejo de recursos hídricos (LI e LYONS, 1999; WARD e TRIMBLE, 2004; BRUTSAERT, 2005). Ela é responsável por quase todo o volume de água transferido dos continentes para a atmosfera, além de desempenhar um papel definitivo na liberação de calor latente, LE, cujo valor integrado no tempo, de acordo com Bastiaanssen et al. (1998), é importante para diferentes aplicações em estudos de hidrologia (manejo dos recursos hídricos), agronomia e modelagem atmosférica.

Segundo Klocke et al. (1996), a evapotranspiração corresponde à água removida da superfície e lançada na atmosfera. Este fenômeno ocorre devido à combinação de dois processos através dos quais a água é perdida pela superfície: por evaporação ou por transpiração. Portanto, toda água que entra pela planta e participa de seus processos metabólicos, incluindo a fotossíntese, faz parte da constituição dos seus tecidos e é transpirada por ela.

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância para a avaliação da severidade, distribuição e frequência dos períodos de seca, assim como, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem. No Brasil, diversos estudos foram realizados verificando que a magnitude da evapotranspiração pode ter valores superiores a 40% até aproximadamente 65% do balanço hídrico anual de bacias hidrográficas (MELLO et al., 2004; FILL et al., 2005; KOBAYAMA e CHAFFE, 2008; PINEDA, 2008).

A modelagem também se torna uma aliada nos estudos da evapotranspiração, com cenários climáticos futuros relacionados à temperatura e precipitação, pode-se inferir como a evapotranspiração irá se comportar em décadas futuras. Alguns autores falam sobre a análise de dados modelados e observados da evapotranspiração e as dificuldades em obter dados com parametrizações mais precisas:

“Devido às dificuldades na obtenção de parâmetros naturais deve-se sempre que possível, efetuar a comparação entre dados medidos e simulados, através

de modelos matemáticos como forma de buscar método de avaliação que represente da melhor forma possível, o que ocorre na natureza. Por meio desses modelos pode-se fazer o acompanhamento dos parâmetros naturais mais simples e com custos mais baixos, além da possibilidade de simular parâmetros futuros (LIMA; SILVA e OLIVEIRA, 2001)”.

Essas análises são importantes para os ecossistemas, principalmente o de Caatinga que sofre intenso processo de evapotranspiração devido às altas temperaturas e a baixa disponibilidade hídrica do semiárido nordestino, que vem sofrendo com o problema da seca durante os períodos mais secos do ano. Portanto, é válido ressaltar esse tipo de análise para elaboração de políticas e planos que visem a preservação e conservação dos biomas de florestas secas.

2.5 Balanço Hídrico

Para se entender como se mostra a disponibilidade hídrica é interessante que se analise o balanço hídrico da região que se pretende estudar, no caso do semiárido nordestino esse se torna importante ferramenta para entender esse comportamento que durante todo o período do ano. Segundo Tomasella e Rossato (2005), o balanço hídrico é a somatória das quantidades de água que entram e saem de certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo. O resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece disponível às plantas.

Para os estudos climáticos o balanço hídrico tornou-se ferramenta indispensável, principalmente quando se trata de vegetação, pois orienta onde é mais favorável para o desenvolvimento ou não da vegetação e de culturas agrícolas. Ainda segundo Tomasella e Rossato (2005), os balanços hídricos têm sido utilizados para estimar parâmetros climáticos e, a partir deles, estabelecer comparações entre as condições predominantes em locais diferentes. Se a mesma metodologia de cálculo do balanço hídrico for adotada para todos os locais de uma mesma região, é possível identificar os locais climaticamente favoráveis para a exploração de uma determinada cultura a partir da comparação dos resultados obtidos.

Portanto, estimar balanços hídricos a partir de dados meteorológicos tem sido algo frequente para as pesquisas que tem como objetivo entender como se processa a disponibilidade hídrica no solo das regiões analisadas. Estes tipos de estudos ficam restritos a pequenas áreas e tem o objetivo de apenas verificar modelos matemáticos desenvolvidos para simular o balanço hídrico. As medidas necessárias ao balanço hídrico exigem equipamentos sofisticados e de mão de obra especializada (TOMASELLA e ROSSATO, 2005).

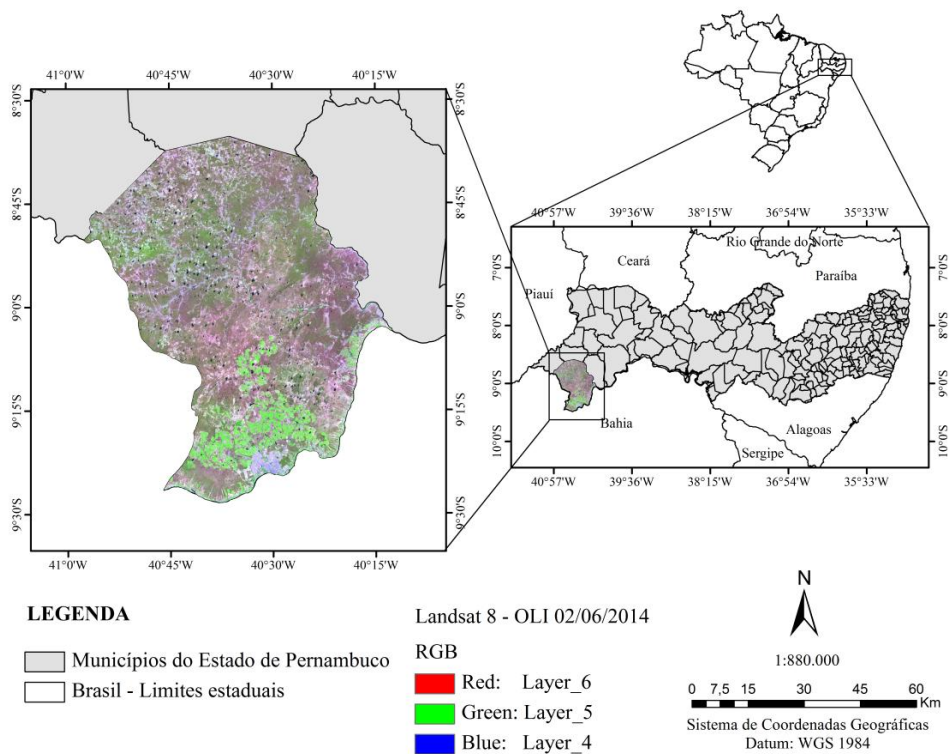
Existem diversos métodos para o cálculo do balanço hídrico, sendo que cada um tem uma finalidade diferente. Um dos modelos mais conhecidos foi proposto por Charles Warren Thornthwaite (1948) e posteriormente modificado por John Russ Mather, (1955) que ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather. A principal função deste balanço é servir como base para uma classificação climática. O método proposto por Thornthwaite e Mather tem sido amplamente utilizado por possibilitar a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo, o que justifica o uso desse modelo para o presente trabalho de pesquisa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Petrolina (figura 03) está localizado na mesorregião São Francisco e na Microrregião Petrolina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Dormentes, a sul com Estado da Bahia, a leste com Lagoa Grande, e a oeste com Estado da Bahia e o Município de Afrânio. A área municipal ocupa 4737,1 km² e representa 4.81 % do Estado de Pernambuco (MASCARENHAS, 2005). Segundo o ultimo senso de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população do município é de 293. 962 com estimativa para 2013 de 319.893. Destaca-se por sua grande produção agrícola e com avançadas técnicas de agricultura irrigada, que proporciona grandes produções de frutas em região semiárida.

Figura 03: Mapa de localização do Município de Petrolina no Estado de Pernambuco



Fonte: Organizado pela autora

3.1.1 Clima

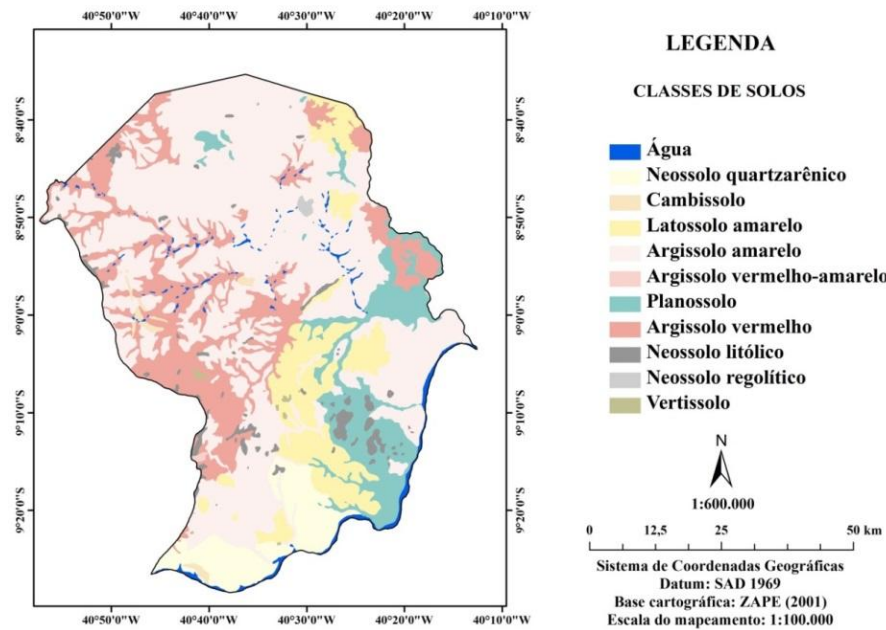
O Clima característico do município é o semiárido, o qual ocorre essencialmente na Região Nordeste, na área de depressão sertaneja, onde a vegetação predominante é a caatinga. Formando a região conhecida como polígono das secas, que avança sobre o norte de Minas Gerais. As temperaturas são elevadas e geralmente superiores a 25°C. A pluviosidade é baixa, em torno de 500 mm anuais, e irregular, apresentando como principal período chuvoso os meses de janeiro a abril. Março e Agosto são os meses com a maior e a menor precipitação, com totais médios de 136 mm e 05 mm, respectivamente (SONDA, 2014). As chuvas que ocorrem no Sertão tem sua origem nas frentes frias, nos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sendo esse último sistema, o principal sistema de produção de chuvas no semiárido de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2006). As chuvas são irregulares, concentrada, são predominantemente convectivas, ocorrem sob a forma de fortes aguaceiros de pequena duração, proporcionando rápido escoamento superficial e, conseqüentemente, baixa taxa de infiltração no solo, agravando, assim, as condições de carência de umidade para as plantas (LINS, ALBUQUERQUE, 2001, p.21).

Nos meses mais úmidos, a umidade relativa do ar varia, em média, entre 66% e 72%. Menores valores ocorrem nos meses mais quentes, de Setembro a Novembro, quando a umidade atinge valores abaixo de 55%. A umidade relativa atinge os maiores valores em Abril, que corresponde ao fim do período chuvoso. A temperatura do ar apresenta variações médias entre 24°C e 28°C, sendo Julho o mês mais frio e Novembro o mês mais quente do ano (SONDA, 2014).

3.1.2 Solo

Os solos da região semiárida são arenosos ou areno-argilosos, pedregosos, pobres em matéria orgânica, porém com regular teor de cálcio e potássio (LINS, ALBUQUERQUE, p. 21). Conforme apresentado na Figura 04, o solo predominante no município de Petrolina são os Argissolos, principalmente o Argissolo Amarelo. O solo é um dos mais importantes elementos naturais da paisagem do semiárido. Os Argissolos têm variabilidades quanto à drenagem, apresentando alguns problemas devido à camada B textural e de fertilidade natural média, além de serem pouco profundos a profundos (ASSIS, 2012). Grupamento de solos com B textural, com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. São mais amarelos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2006).

Figura 04: Mapa indicando as classes de solos que ocorrem no Município de Petrolina, PE



Fonte: Organizado pela autora

3.1.3 Hidrografia

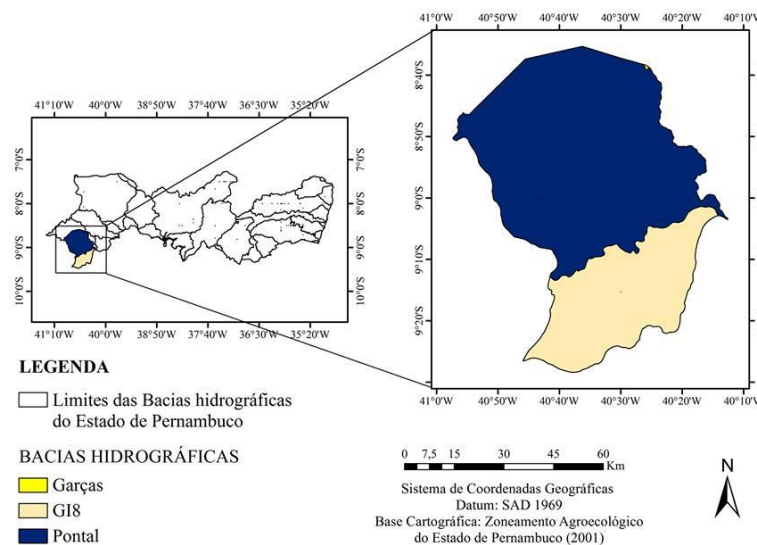
O município de Petrolina encontra-se inserido nos domínios da Macro Bacia do Rio São Francisco, da Bacia Hidrográfica do Rio do Pontal e do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores (BELTRÃO et al., 2005), esse pequeno grupo de bacias interioranas está representado pelo G18 na Figura 05.

A rede de drenagem da área é bastante vasta, constituída por grandes rios, como por exemplo, o Garça, o São Pedro, o Brígida, o Pontal, e outros, além de pequenos riachos que correm de forma mais ou menos paralela na direção sul para o Rio São Francisco. Este é o mais importante rio da região, por extensão, volume d'água, potencial energético e perenidade. Percorre um longo trecho semiárido, principalmente entre os municípios de Petrolina e Petrolândia, permitindo a irrigação nas suas margens, peça fundamental ao soerguimento agrícola racional da região (SILVA et al., 2005, p.06).

Com as possíveis alterações climáticas que podem ocorrer na região, conforme aponta IPCC (2007), os rios e cursos d'água podem sofrer redução em suas vazões, além disso, há predomínio de rios intermitentes, que serão bastante afetados com aumento de temperatura e prováveis reduções pluviométricas. Sobre essa questão Lins e Albuquerque (2001) explicam que devido às limitações pluviométricas e da reduzida capacidade de retenção de água no

solo, o regime de alguns rios é temporário e atinge o ponto de esgotamento no mês subsequente ao término das chuvas, de forma que os rios da região ficam secos de 100 a 200 dias. Contudo, Daí, et al. (2009) apud Marengo (2011) observaram redução da ordem de 35% nas vazões do Rio São Francisco nos últimos 50 anos, cuja variação não está associada a mudanças no volume de chuvas da região, e sim, a fatores antrópicos, ao uso das águas para irrigação e à geração de energia elétrica com a construção de Sobradinho.

Figura 05: Mapa indicando as bacias hidrográficas do Município de Petrolina, PE



Fonte: organizado pela autora.

3.2 Material

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados observados mensais de precipitação pluviométrica e temperatura média do ar no período de 2011 a 2013, cedidos pelo SONDA. Assim como também, se utilizou o modelo regional ETA para os dados projetados de 2011 até 2040 para a área de estudo, 30 anos de análise, conforme recomenda a Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

Os dados modelados foram cedidos pelo CPTEC ao ITEP, que utiliza os dados do modelo para projetos de pesquisas. Foram empregadas, no atual estudo, médias mensais projetadas pelo ETA regional e os dados medidos em estação meteorológica, nesse caso, foram utilizados valores obtidos junto ao SONDA para os três anos (2011, 2012, 2013) da área em questão.

Além disso, foram empregados dados meteorológicos referentes à climatologia de 1961 a 1990, do município, cedida pela estação Agrometeorológica de Bebedouro (Petrópolis-PE 09°09'S 40°22'W), pertencente à EMBRAPA.

Para verificar a validação das previsões geradas pelo modelo ETA, foram realizadas comparações entre os valores medidos (observados) de precipitação pluvial (mm) e temperaturas médias mensais (°C) e os respectivos valores previstos pelo modelo na base mensal. O processo de validação pode ser definido como sendo a comparação de resultados do modelo com os dados numéricos obtidos de ensaios laboratoriais ou de observação da realidade (DONIGIAN; RAO, 2004). Os valores modelados apresentam resolução espacial de 20 km, forçada pelos prognósticos fornecidos pela resolução horizontal de 40 km. A validação permite confirmar que os passos anteriores na construção de um modelo resultaram em uma imagem confiável e representativa do sistema natural (LOPES, 2005).

Para a análise da correlação do Índice de Área Foliar – IAF com os dados de precipitação observados e modelados, foram utilizados produtos do sensor MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer). O IAF é uma medida da cobertura vegetal, definida pela razão entre a área total de folhas e pela unidade de solo ocupada por esta vegetação, é importante, pois é nas folhas que ocorrem as trocas de massas e energia que regem todo o sistema, além de ser parâmetro importante para a evapotranspiração é um indicador da produtividade das plantas (DANIELICHEN et al, 2014)

Para leitura dos dados binários modelados foi utilizado o software GRaDs, assim como para exportação desses dados para a versão txt, promovendo, com isso, a manipulação dos dados em planilhas no Excel para a julgamento dos cenários, o que facilitou a elaboração dos gráficos no software estatístico OriginPro. O GrADS é uma ferramenta computacional interativa para a análise e exibição de dados de ciência da Terra, é usado no globo todo e livremente disponível na internet.

Para confecção do balanço hídrico foi utilizado o software Excel™, com o uso da Planilha eletrônica de balanço hídrico normal, desenvolvida por Rolim e Sentelhas (1999). Ele inclui estimativas da evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico. Esse método considera que a taxa de perda de água por evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo

3.3 Métodos

3.3.1 Procedimentos metodológicos

A metodologia empregada para esse trabalho consiste em analisar os resultados numéricos das previsões climáticas de dados observados e modelados, comparando-os quantitativamente. O objetivo de um modelo climático é produzir dados que sejam estatisticamente similares aos valores observados (DUBROVSKY, 1977), ou seja, no presente estudo a correlação entre os dados observados obtidos sinteticamente devem ter diferenças estatisticamente não significativas das que se verificam nos dados observados, que é explicado pela força da relação por meio da correlação e explicitando a forma dessa relação por meio da regressão.

A correlação mede a força, ou grau, de relacionamento entre duas variáveis; a regressão dá uma equação que descreve o relacionamento em termos matemáticos, objetivando verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Essa relação foi abordada com as médias mensais de temperatura do ar e o acumulado mensal de precipitação interpolado para a grade do modelo meteorológico numérico regional ETA, operado pelo CPTEC/INPE. Para a execução do presente trabalho de pesquisa, os dados modelados foram obtidos no CPTEC/INPE, baseados no cenário A1B, com a análise do modelo Global HadCM3Cntrl, extraídos da série temporal de 2011 a 2040 determinada para a América Latina (Figura 02). A partir desses dados, foi gerado um recorte espacial para o nordeste e em seguida para o campo de estudo, o município de Petrolina.

Diante desse contexto, a partir dos dados selecionados, fez-se uma análise comparativa dos balanços hídricos das médias mensais dos dados modelados e observados, formulados no excel, além da elaboração dos gráficos de regressão/correlação. Para isso foi utilizado o auxílio do software estatístico OringinPro, uma vez que a estatística tem por objetivo o estudo dos fenômenos coletivos e das relações que existem entre eles (MARTINS, 1990). Foram elaborados dois gráficos com os valores de precipitação (mm) e temperatura média do ar (°C), dois gráficos com a ETP (evapotranspiração potencial) e ETR (evapotranspiração real) mensal e mais dois gráficos com os valores do IAF do sensor MODIS com a precipitação da série temporal de 2011 a 2013 modelados e observados, os quais foram analisados, conforme se apresentam nas Figuras 08 e 09, 10 e 11, 21 e 23 a fórmula da análise de correlação/regressão simples utilizada foi a partir da equação 1:

$$y = ax + b \quad (1)$$

em que, a variação do eixo y pode ser explicado pela variação do eixo x. Dessa forma: a= estimador do coeficiente linear; b= estimador do coeficiente angular.

Também foram organizados gráficos comparando as médias mensais e anuais dos dados modelados, com os dados observados e climatológicos da área de estudo, objetivando dessa forma, verificar se os dados modelados se aproximam ou não numericamente dos valores observados. Além de gráficos comparativos da frequência do IAF da vegetação de Caatinga com a precipitação do período de 2011 a 2013, objetivando verificar como a vegetação se comporta nos três anos tanto com os valores de chuvas observadas e modeladas e se esse comportamento da vegetação com os dados modelados se aproximam ou não com o comportamento da vegetação com os dados observados. Espera-se dessa forma, que o modelo possa contribuir para estudos futuros sobre a preservação e conservação do bioma Caatinga.

O teste estatístico empregado para verificação se a tendência climática até 2040 é estatisticamente significativa ou não é o teste de Mann-Kendall. Este é um teste não paramétrico baseado num processo de hierarquização dos dados (GROPPO, 2005). Ainda segundo o autor, nesse tipo de teste os dados são agrupados dentro de blocos sazonais, e então testados quanto a tendência de cada bloco, utilizando um procedimento de hierarquia.

Para realização desse teste foi utilizado o software OriginPro. Moraes et al. (1995) descrevem o método considerando uma série temporal de Xi de N termos ($1 \leq i \leq N$); conforme equação (2):

$$tn = \sum_{i=1}^n mi.$$

O teste consiste na soma tn do número de termos mi da série, relativo ao valor Xi cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($X_j < X_i$).

Para a elaboração dos balanços hídricos balanços hídricos utilizaram-se dados meteorológicos modelados e observados e através do método de Thornthwaite e Mather (1955) esses foram organizados. O balanço hídrico foi calculado com o uso do macro desenvolvido no programa Excel™ conforme metodologia apresentada por Glauco de Souza

Rolim e Paulo César Sentelhas do Departamento de Física e Meteorologia ESALQ/USP (1999).

O Balanço Hídrico (BH) proposto por Thornthwaite e Mather (1955) auxilia na validação do AS (albedo da superfície) através dos dados de Evapotranspiração Real (ETR), Evapotranspiração Potencial (ETP) e Precipitação (P), pois, indica o fator de umidade do clima realizando uma correlação com o AS, que é influenciado pela presença de lâmina d'água (CAMARGO e CAMARGO, 1993; GIELOW et al, 1999). Com ele é possível estimar os índices de aridez, umidade e o índice hídrico.

Pretende-se com isso avaliar o déficit e excedente hídrico, evapotranspiração e o total de água retida no solo para o município de Petrolina no período de três anos (2011 a 2013). Mais adiante, foram elaborados balanços hídricos futuros para a década de 2020; 2030 e 2040 com a finalidade de verificar como se comportará a disponibilidade hídrica da região nas próximas décadas. Por se tratar de uma região de predomínio de clima semiárido o déficit hídrico alto, uma vez que, a quantidade de água que evapora é três vezes maior do que a de chuva que precipita, além de possuir solo raso dificultando o armazenamento de água. Para essa análise foram utilizadas médias mensais de temperatura do ar e do acumulado mensal precipitação pluviométrica dos períodos citados, esses valores são referentes aos dados modelados e observados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

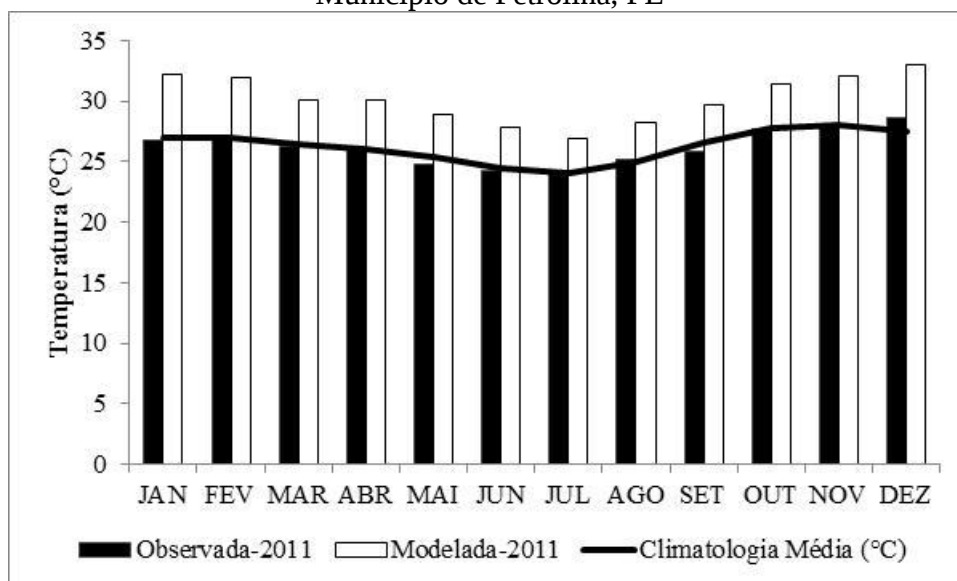
Neste capítulo serão apresentados os resultados desta pesquisa, tendo como análise os índices climáticos das médias mensais da temperatura do ar e o total mensal cumulado da precipitação pluviométrica: modelados, observados e a climatológicos da área de estudo.

4.1 Comparativo das médias mensais das variáveis

As Figuras 06, 07 e 08 mostram o comparativo das médias mensais da temperatura do ar observada, modelada e a climatologia (1961-90), para os anos de 2011, 2012 e 2013 respectivamente. Segundo Lopes (2005, p.29) a comparação visual das séries temporais dos valores observados e modelados, através de gráficos de distribuição de frequências, é um meio rápido e eficaz de analisar resultados. Esse tipo de representação torna a análise mais clara e didática, conseqüentemente, optou-se por emprega-lo neste trabalho para análise dos dados.

De forma geral, as temperaturas médias do ar observadas para o ano de 2011 ficaram em torno da série climatológica histórica de 1961-1990. Por outro lado as temperaturas, modeladas superestimaram os valores da temperatura média em todos os meses no ano de 2011, com valores acima da média (Figura 6). Ressalta-se que nos meses de junho, julho e agosto os resultados do modelo (27,8°; 26,8°; 28,1°) se aproximaram mais dos valores observados (24,3°; 24,1°; 25,2°), e que este período corresponde ao inverno da região, com diferenças em torno de 2,7°C.

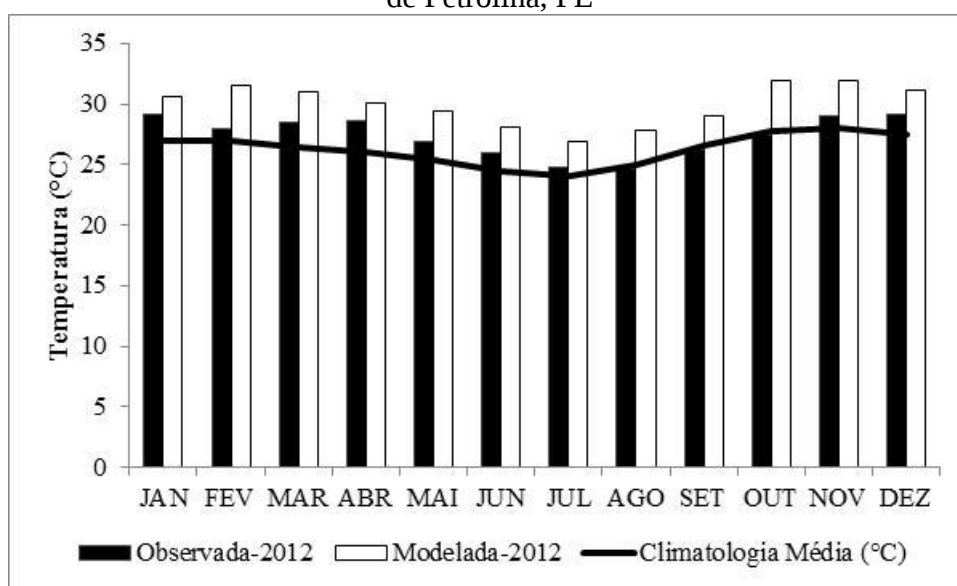
Figura 06: Valores de médias mensais da temperatura do ar medidos em 2011 no Município de Petrolina, PE



Fonte: organizado pela autora.

Da mesma forma que no ano anterior, as temperaturas médias do ar observadas ficaram em torno da média histórica para o ano de 2012. Nesse caso, o modelo também superestimou os valores da temperatura média em todos os meses para o ano, com valores acima da média (Figura 7). Ressalta-se que nos meses de janeiro, abril e julho os resultados do modelo (30,6°; 30°; 26,9°) se aproximaram mais dos valores observados (29°; 28,6°; 24,7°), dois meses de período chuvoso e um seco para a região, apresentando diferenças em torno de 0,4°C.

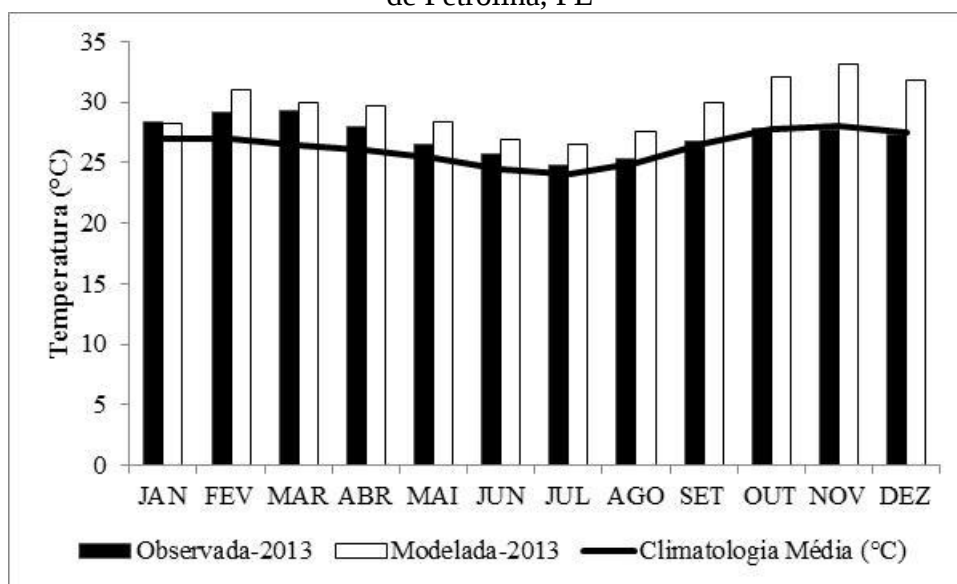
Figura 07: Valores de médias mensais da temperatura do ar medidos em 2012 no Município de Petrolina, PE



Fonte: organizado pela autora.

De igual maneira aos dois anos anteriores, as temperaturas médias do ar observadas ficaram também em torno da média histórica para o ano de 2013. Nesse caso, o modelo igualmente superestimou os valores da temperatura média em quase todos os meses do ano, com valores acima da média (Figura 8). Ressalva-se que nos meses de janeiro, março e junho os resultados do modelo se (28,1°C; 29,8°C; 26,9°C) se aproximaram mais dos valores observados, apenas no mês de janeiro o valor modelado foi discretamente menor que o valor observado (28,3°C; 29,3°C; 25,7°C), mais uma vez, dois meses de período chuvoso e um seco para a região, apresentando pequenas diferenças 0,2°C no mês de janeiro.

Figura 08: Valores de médias mensais da temperatura do ar medidos em 2013 no Município de Petrolina, PE



Fonte: organizado pela autora.

Percebe-se que ambas as variáveis, observadas e modelas, não fogem da tendência climatológica da região, contudo, os valores observados são mais próximos da climatologia. Todavia, o modelo apresenta boa resposta em termos de temperatura do ar, mesmo quando apresenta superestimação dessas, com uma variação em torno de mais ou menos 1°C a mais sobre a climatológica e os valores observados, ou seja, a resposta modelada para os picos de temperatura são satisfatórias nos três anos de dados observados.

Salientando-se que esse prognóstico é baseado no cenário controle A1B, ou seja, conserva os índices de emissões constantes, ou seja, para planejamento de políticas públicas de controle de emissões de gases e efeito estufa, mantendo-se os níveis atuais. É um grande desafio para a climatologia prever as mudanças climáticas com detalhe adequado e antecedência suficiente para permitir à humanidade ajustar seu comportamento e evitar piores consequências de tais mudanças (ARAÚJO; SOUZA; MENDONZA, 2008), pois os modelos ainda superestimam as temperaturas. A superestimativa de 1°C do modelo, pode ser utilizados para tomada de decisão de políticas públicas, uma vez que os resultados dessa pesquisa aponta para uma temperatura observada próxima a climatologia da região. Porém, estes resultados contribuem no incremento de possibilidades para controlar os agentes poluentes fazendo-se pensar em políticas sustentáveis de desenvolvimento.

As Figuras 09, 10 e 11 apresentam o comparativo das médias mensais acumuladas de precipitação pluviométrica observada, modelada e a climatologia (1961-90).

Percebe-se que os dados encontram duas situações adversas, a primeira é do ano de 2011 que choveu acima de média histórica, seguido por dois anos secos, 2012 e 2013, na maior parte do ano, os índices ficaram abaixo da média histórica. Com isso pode-se inferir que os erros apresentados pelos dados estimados pelo modelo climático ETA regional são devidos ao modelo não conseguir prever os extremos climáticos, como ocorre com a maioria dos modelos, porém, possui uma resposta satisfatória em termos de temperatura, não destoando do padrão da média histórica, apenas sobrestimando.

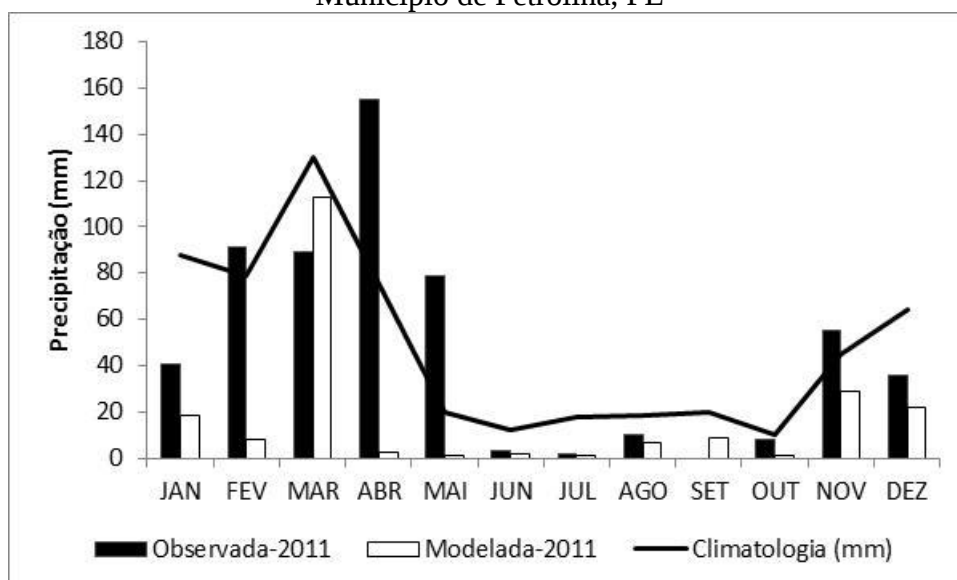
Para os índices pluviométricos, o modelo ETA deve ser melhor calibrado de forma que possam proporcionar estimativas mais precisas, com parametrizações dos processos físicos atuantes que podem interferir na climatologia, verificando com mais detalhe os aspectos de interação superfície-atmosfera no semiárido Nordeste. LOPES (2005) ressalta que a variação sazonal da precipitação é um fator importante e este aspecto deve ser abordado de várias maneiras, assumindo que os parâmetros variam em função do mês ou da estação do ano. Ainda segundo o autor, os modelos de simulação climáticas devem reproduzir, pelo menos de uma forma aproximada, a variabilidade intra-anual da precipitação, tal como indicado pela variação da precipitação mensal ou sazonal de ano para ano, que geralmente é menor que o observado.

Contudo, a variabilidade intra-anual no semiárido nordestino é bastante influenciada por fenômenos como El Niño, o que deve ser levado em consideração quando se pretende calibrar modelos climáticos para a região, mesmo que algumas pesquisas apontem a não interferência do El Niño na variação espaço temporal da precipitação na região semiárida brasileira, esse fenômeno não deve ser desprezado à nível de previsão climática. Galvinctio & Sousa (2002) analisando a interferência do EL Nino sobre a precipitação da bacia hidrográfica do rio São Francisco obteve significativas correlações. Mostrando que o El Nino apresenta influencias negativas sobre a precipitação no Submedio São Francisco. Região onde se localiza Petrolina.

O ano de 2011, como já mencionado, apresentou índice de chuvas maior que os demais anos (2012 e 2013). Contudo, em praticamente todo o ano os índices ficaram abaixo da normal climatológica (Figura 09), com exceção para os meses de fevereiro, abril e maio, onde os valores observados (91,44mm; 154,94mm e 78,74mm), ficaram bem acima dos valores observados (8,07mm; 2,83mm; 0,79mm). Conclui-se para este ano, que o modelo subestimou a precipitação para todos os meses do ano, com exceção para o mês de março que o modelo apresentou 112,64 mm em detrimento dos 88,90mm observados, lembrando que este mês é um dos mais chuvosos para a região. Por conseguinte, fica evidente que a

difficuldade apresentada pelo modelo na previsão de chuvas para o ano de 2011, se deu pelo fato do ano ter apresentado índices acima da média, expondo a tendência do modelo em subestimar a precipitação para o semiárido.

Figura 09: Valores de médias mensais da precipitação pluviométrica medidos em 2011 no Município de Petrolina, PE

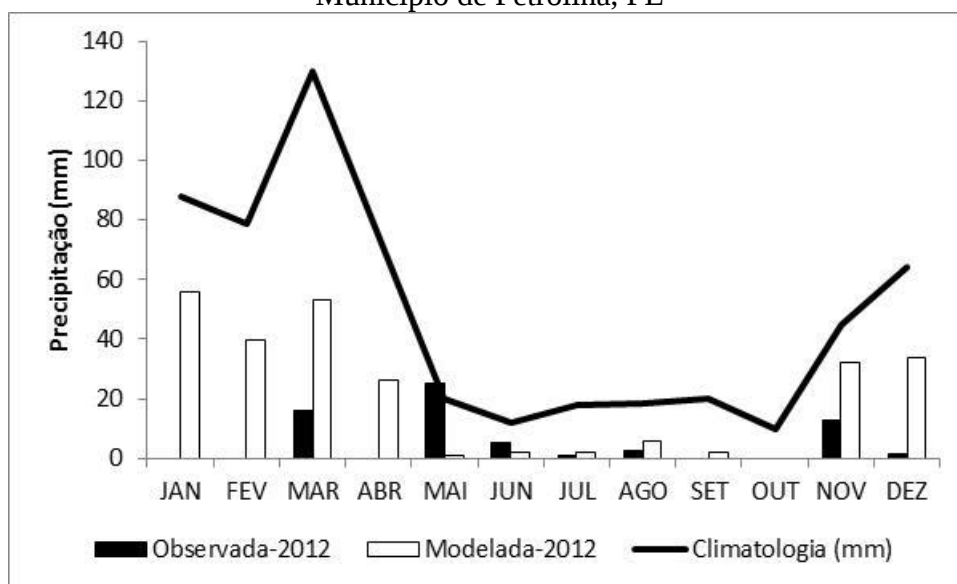


Fonte: organizado pela autora.

A análise feita para o ano de 2012 mostrou que tanto os valores modelados quanto os observados ficaram abaixo da normal climatológica (Figura 10). Por se tratar de um ano bastante seco, o modelo superestimou os índices, principalmente, para os meses considerados chuvosos na região, janeiro, fevereiro, março e abril (55,85mm; 39,92mm; 52,99mm; 26,17mm) em contrapartida dos valores observados que foram muito baixos (00,00mm; 00,00mm; 16,00mm; 00,00mm). Logo, um ano bastante seco não estimado pelo modelo, uma vez que os índices de chuvas ficaram abaixo, inclusive, da climatologia da região.

E muito comum os modelo não apresentarem boas estimativas em anos de eventos extremos como por ser visto em Galvêncio et al. (2006), Galvêncio et al. (2007).

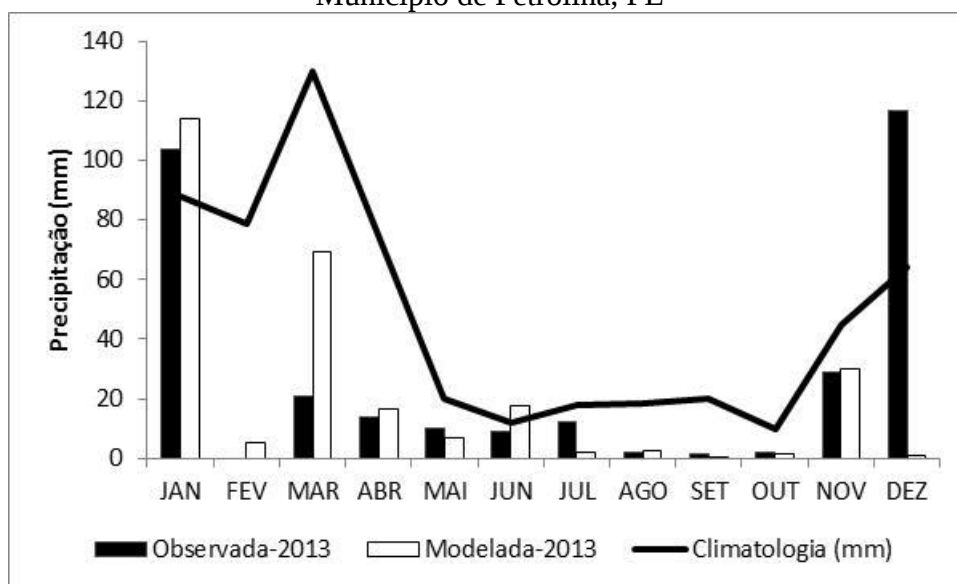
Figura 10: Valores de médias mensais da precipitação pluviométrica medidos em 2012 no Município de Petrolina, PE



Fonte: organizado pela autora.

O ano de 2013 apresentou, em sua maioria, precipitação abaixo da climatologia, tanto no que concerne aos dados modelados quanto aos observados (Figura 11). Por também se tratar de um ano seco, o ETA superestimou os valores de precipitação em mais da metade dos meses, porém com diferenças mínimas entre os valores estimados e observados. O que chama atenção neste ano é o pico de chuva no mês de janeiro, onde o modelo apresentou 114,13mm e o índice observado ficou em 103,87mm, despontando que o modelo ofereceu resposta satisfatória a esse extremo de chuva, em contra partida ao mês de dezembro onde o valor observado (116,91mm) ficou muito acima do valor modelado (0,89mm). De uma maneira geral, o modelo respondeu bem à previsão de chuvas para um ano seco, totalizando como média anual observada em 320,00mm comparando-se com 266,53mm anual modelado, mesmo que predominou meses em que o ETA superestimou as medias, ainda assim o ETA apresentou um total anual de chuvas menor que o observado.

Figura 11: Valores de médias mensais da precipitação pluviométrica medidos em 2013 no Município de Petrolina, PE



Fonte: organizado pela autora.

Estudos realizados por Chou, Bustamante e Gomes (2005) mostraram que em termos quantitativos o ETA apresentou melhor previsões em termos de precipitação sobre Amazônia e menor na região Nordeste do Brasil, mostrando a tendência do modelo em subestimar os valores pluviométrico para o Nordeste, devido inclusive às suas condições naturais em detrimento à região amazônica.

A previsão de extremos de precipitação ainda é um grande desafio para muitos modelos climáticos, uma vez que alguns eventos são ocasionados pelo desequilíbrio do sistema natural devido ao intenso processo de degradação ambiental, a frequência com que estes modelos produzem eventos extremos, particularmente períodos de seca, é inferior ao que é observado (BUISHAND 1978; SEMENOV e PORTER, 1995 apud MARENGO, 2011). Contudo, não foi o que ocorreu na análise dos anos secos, uma vez que 2012 e 2013 apresentaram valores de precipitação no período seco abaixo dos índices projetado pelo ETA para o período (figura 10 e 11).

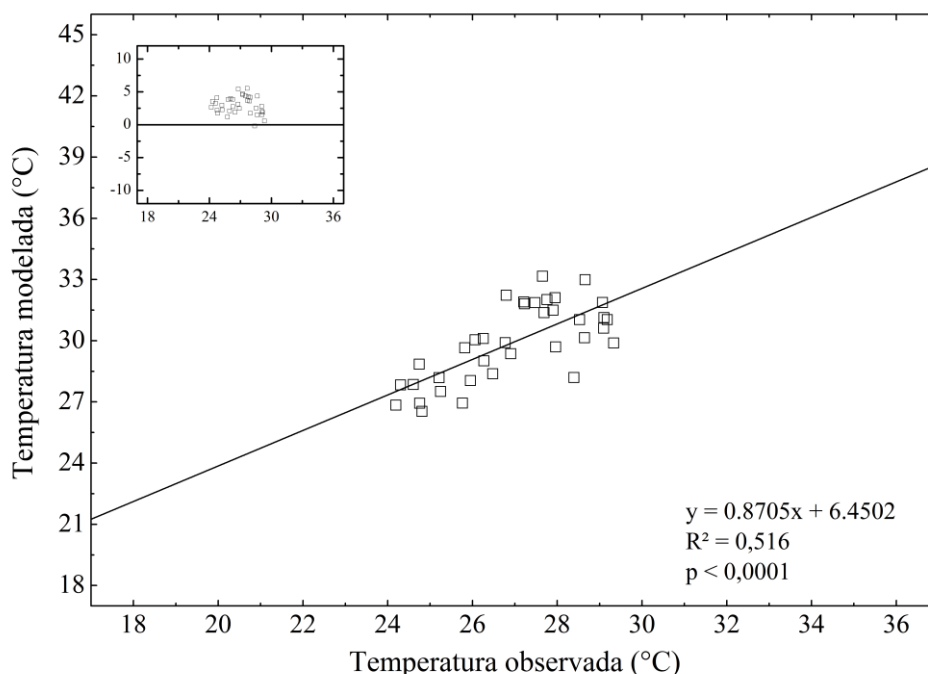
4.2 Análises da correlação linear simples entre os dados modelados e observados de temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica

A análise dos aspectos climáticos dos três anos evidenciou uma boa correlação entre os dados observados e modelados para a temperatura média do ar. Conforme apresentado na Figura 12 a variação média mensal da temperatura simulada pelo modelo e os dados observados para Petrolina para os anos de 2011 a 2013, demonstrou um coeficiente de

determinação $R^2 = 0,516$ da variação dos dados de temperatura modelados que podem ser explicados pela variação dos dados observados. O índice de significância ficou abaixo de 0,05 corroborando com a correlação significativa dos valores. Percebe-se que quanto maior a temperatura observada melhor é a correlação com a temperatura modelada. Isso indica que o modelo responde bem aos picos de temperatura. Galvêncio e Sousa (2002) obtiveram correlações semelhantes aos apresentados aqui quando avaliou a correlação entre as TSM do pacífico e as precipitações da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Os autores evidenciaram a importante relação física existente entre as variáveis.

O gráfico menor, ainda na Figura 12 refere-se à subtração entre os valores modelados e observados, o qual retrata bem a superestimação do modelo para a temperatura média do ar, uma vez que na diferença dos dados observados e projetados, esta variou em torno de 10 °C para mais, com uma maior concentração dos elementos acima da linha que representa a subtração dos valores, o que reforça a ideia de que o modelo tende a superestimar a temperatura para a região do semiárido.

Figura 12: Correlação entre os dados observados e modelados pelo ETA da temperatura média mensal do ar para os anos de 2011 a 2013 obtidos para Petrolina, PE

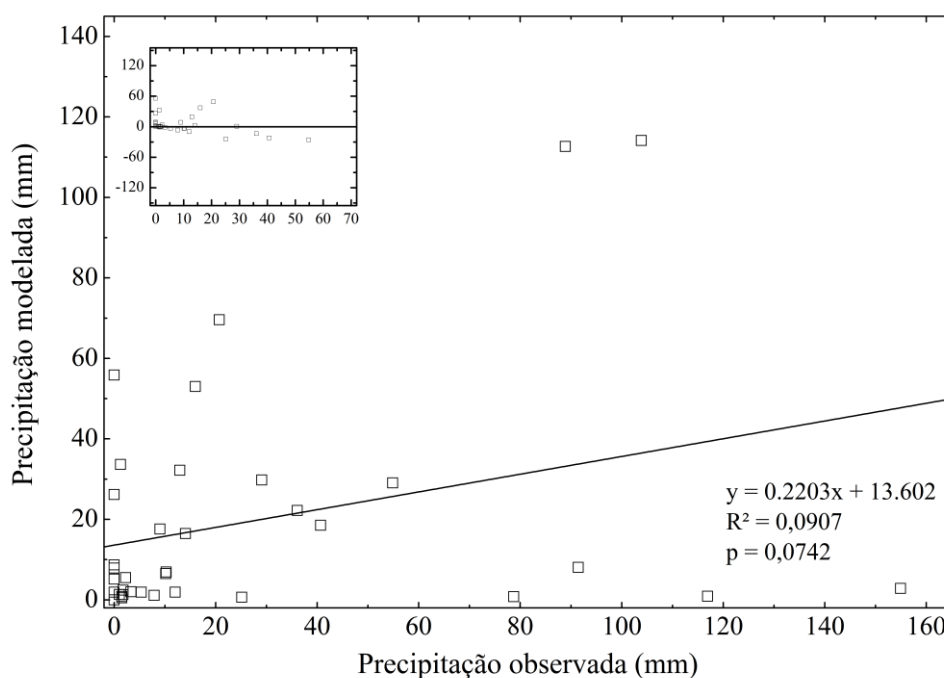


Fonte: organizado pela autora.

Em relação às chuvas a Figura 13 mostra a variação da precipitação média mensal acumulada para os três anos previstos pelo modelo, assim como também os índices pluviométricos observados sobre a região de Petrolina. Observa-se que o coeficiente de

determinação $R^2 = 0,09$ da variação da precipitação modelada que pode ser explicada pela variação da precipitação observada para o período. A análise mostrou que o índice de significância é maior que 0,05 demonstrando com isso que não há correlação ideal entre os dados, pois, onde a precipitação observada revela-se mais alta, o ETA climático tende a subestimar os valores apresentando assim, um índice pluviométrico muito baixo do ocorrido.

Figura 13: Correlação entre os dados observados e modelados pelo ETA da precipitação pluviométrica mensal do ar para os anos de 2011 a 2013 obtidos para Petrolina, PE



Fonte: organizado pela autora.

O oposto ocorre com os índices mais baixos, pois, onde se observa a precipitação mais baixa, o modelo tende a superestimar. Isso sugere que o modelo não responde aos extremos de precipitação. No gráfico menor a diferença dos dados modelados e observados variou em torno de 60 mm de precipitação para mais e/ou para menos, apresentando uma maior concentração dos valores próximos à linha, ou seja, as diferenças dos valores estão agrupadas em maior número nos menores percentuais de chuvas para a região.

Sobre a eficácia do modelo ETA para os índices de precipitação em outras áreas do Brasil, Araujo (2012, p.21) cita estudos que apontaram que as previsões do ETA/CPTEC tem eficiência para a indicação das condições sazonais e a região Amazônica apresenta índices de acerto para previsão das precipitações maiores do que em outras regiões do país, sendo que os erros identificados na previsão da precipitação são de pequena intensidade, exceto no

Nordeste do Brasil. Corroborando com o resultado desse estudo, onde ressalta a baixa correlação dos dados projetados e observados para o semiárido Nordestino.

Ainda sobre a baixa correlação e precisão do ETA sobre os índices de chuva, no caso estudado pode ser associado à resolução dos dados utilizados, uma vez que com 20 km de resolução os valores são mais propensos a apresentar erros quando comparados a dados de resolução maior, como se observa em estudos que utilizam resolução de 80 km. Chou, Bustamante e Gomes (2005), apud Nobre et al. (2001), citam a análise do Modelo Regional Spectral a 80 km de resolução melhorou a degradação do ECHAM3 GCM para simular chuvas sobre o Nordeste do Brasil durante a estação chuvosa, de Janeiro até abril de 1999, no entanto, em 20 km, os resultados tornaram-se mais ineficientes do que com 80 km de versão. Contudo, os dados utilizados na pesquisa são regionalizados, portanto, a uso de dados a 20 km de resolução.

Ainda sobre essa questão pode-se citar o estudo de Fernandez (2004) sobre as circulações estacionárias (Alta Bolívia) que se desenvolvem sobre a América do Sul durante o verão e os efeitos de anomalias de grande escala (El Niño e La niña) que utilizou os modelos ETACLIM (Modelo Climático Regional ETA/CPTEC) e o RegCM3 (Regional Climate Model – Versão 3), onde os dois modelos tenderam a subestimar a precipitação sobre grande parte da América do Sul e superestima na região dos Andes (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005), contudo, é importante ressaltar que estes modelos simularam a variabilidade interanual durante os eventos extremos, necessitando de maiores análises a fim de identificar as fontes de erro do modelo. Na pesquisa de Fernandez (2004), no que tange ao campo de temperatura, os resultados evidenciaram que o ETACLIM também tende a superestimar os campos, assim como demonstrou a presente análise para o semiárido, enquanto que o RegCM3a subestima. O autor atribui essas deficiências aos parâmetros de convecção e processos de superfície e radiação (ARAUJO, 2012, p.25).

Dessa forma, Araujo (2012, p.19) relata que a destreza dos modelos em reproduzir as características regionais do clima foi substancialmente testada mediante simulações em várias partes do mundo com diferentes regimes climáticos. Os resultados destes estudos mostraram que o desempenho do modelo varia conforme a estação do ano, topografia e localização da região em estudo em relação às circulações que determinam as variáveis prognósticas.

Araujo (2012) ainda ressalta que se deve buscar uma parametrização do modelo, além de analisar os processos convectivos, pois desempenham uma importância fundamental na redistribuição de calor e umidade da atmosfera, afetando as variáveis de previsão de grande

escala e reduzido a instabilidade atmosférica, dessa forma, não ocasionará grandes discrepâncias nos valores das variáveis meteorológicas.

Moura *et. al* (2010) afirmam que em certos eventos extremos os modelos não são capazes de apresar os sistemas intensos, apresentando baixa qualidade nas previsões, podendo subestimar ou superestimar a intensidade e o posicionamento destes sistemas meteorológicos em uma determinada região. Os eventos extremos devem ser considerados nas análises climáticas para que sejam evitados erros sistemáticos nas previsões, assim como um acompanhamento do desempenho dos modelos, para que estes se tornem ferramentas confiáveis nos estudos climatológicos.

De maneira geral, para o presente estudo, os dados estimados pelo modelo regional ETA, mostrou-se mais eficiente nas simulações da temperatura e menos eficiente nos valores de precipitação, o que não significa dizer que é uma ferramenta falha na análise das mudanças ou variabilidades climáticas, uma vez que pode modificar conforme a área pesquisada, ou seja, é preciso uma análise mais aprofundada acerca dos cenários gerados pelos modelos nas mais diversas regiões do globo, levando em consideração a necessidade de parametrizações físicas para cada região em estudo e o diagnóstico de ocorrência dos eventos extremos para o período.

4.3 Análises da correlação linear simples entre os dados modelados e observados da Evapotranspiração Potencial – ETP e Evapotranspiração Real – ETR

Conforme se observa na tabela 01, os dados modelados da ETP se aproximam mais dos valores observados, o que não ocorre com a ETR, uma vez que esta está associada aos valores de precipitação, e a ETP aos de temperatura, os quais o modelo apresenta resultado mais satisfatório, todavia com os valores de chuva para a região, o ETA, como outros modelos, não apresenta boa assertividade no semiárido nordestino, com isso compromete a correlação da ETR projetada e observada. No que concerne à precipitação não existe uma tendência única, o que é decorrente da formulação de cada modelo (RAMOS et al., 2006 apud PITA, 2011). Acredita-se ainda que a evapotranspiração tenha interferência na precipitação local. Assim, os erros do modelo na estimativa de precipitação também estarão associados a não obtenção de dados de evapotranspiração local observados. Galvinctio et al. (2014) quando analisou a influencia da evapotranspiração local na precipitação local em área de floresta Atlântica obteve correlações de aproximadamente 0,4. Isso significa que existe uma interferência física considerável da evapotranspiração local na precipitação local, dados que não são considerados nos modelos.

Salientando que se trata de três anos secos para a região o que estorva a análise, com um ano de chuva alta concentrada. Essa variabilidade interanual do semiárido deve ser considerada na calibração dos modelos climáticos, entretanto, torna-se um grande desafio, lidar com a sazonalidade climática nos ajustamentos dos modelos regionais de clima.

Analizando os valores da tabela 01 percebe-se que o modelo, no ano 2011 o qual apresentou chuvas concentradas, superestima a ETP e subestima a ETR, já nos anos mais secos (2012 e 2013) o modelo superestima a ETP e ETR, com uma ressalva para o ano de 2013 onde a ETR modelada apresentou valores próximos ao observado, todavia, na maioria dos meses do ano os índices modelados apresentaram-se mais alto.

Os valores apresentados na tabela abaixo foram gerados com os dados do ETA (modelados) e da estação SONDA (observados) através do balanço hídrico da região.

Tabela 01: Valores modelados e observados para os anos de 2011 a 2013 da ETP e ETR

Modelada ETP 2011	Modelada ETR 2011	Observada ETP 2011	Observada ETR 2011
Thornthwaite	Mm	Thornthwaite	mm
1948		1948	
342,66	18,5	146,23	40,7
299,78	8,1	142,87	91,4
239,80	112,6	136,60	88,9
224,47	2,8	125,83	125,8
183,27	0,8	105,45	85,6
144,30	2,0	94,17	16,6
122,56	0,8	95,44	7,0
160,75	6,5	112,15	12,4
207,78	8,7	120,62	0,9
296,08	1,1	164,37	8,2
330,67	29,0	167,95	54,9
400,18	22,2	192,70	36,1

Modelada ETP 2012	Modelada ETR 2012	Observada ETP 2012	Observada ETR 2012
Thornthwaite	Mm	Thornthwaite	mm
1948		1948	
260,20	55,9	200,78	0,0
279,97	39,9	156,50	0,0
280,99	53,0	186,45	16,0
228,69	26,2	179,46	0,0
201,97	0,6	140,96	25,1
151,53	1,9	116,16	5,3
131,65	1,7	98,81	1,0
152,35	5,5	97,44	2,3
185,75	1,9	125,37	0,0

319,98	0,0	158,72	0,0
316,04	32,2	196,92	13,0
292,81	33,6	207,18	1,3
Modelada ETP 2013	Modelada ETR 2013	Observada ETP 2013	Observada ETR 2013
Thornthwaite	Mm	Thornthwaite	Mm
1948		1948	
171,38	114,1	181,82	103,9
256,64	5,1	187,36	0,0
231,19	69,6	208,20	20,7
211,82	16,5	162,88	14,1
170,76	6,9	132,62	10,3
125,44	17,6	113,33	9,0
119,71	1,9	100,42	12,0
145,08	2,4	108,85	1,8
217,74	0,5	135,80	1,5
323,72	1,3	165,62	1,8
381,63	29,8	161,04	29,1
324,08	0,9	158,55	116,9

Fonte: Organizado pela autora.

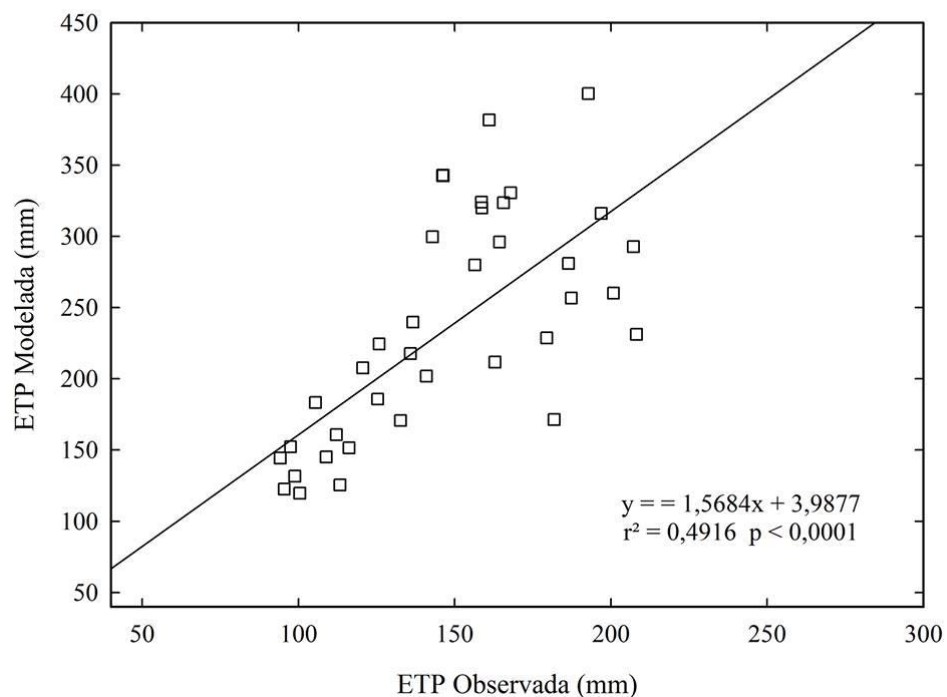
O conhecimento da evapotranspiração é importante para vários estudos climáticos, especificamente para a área do presente estudo, entender como esta vai se comportar, juntamente com a análise de precipitação é importante para planejamentos agrícolas locais. O conhecimento das séries de precipitação e evapotranspiração de uma região é de grande valia para análises agroclimatológicas, para o balanço de água, e para maior confiabilidade no planejamento de recursos hídricos de uma região sob escassez (SILVA, 2013). Além disso, o estudo de cenários futuros de temperatura contribui para estimar a evapotranspiração para as secas regiões e, portanto, estudar formas de como lidar para amenizar sua intensificação. O aumento da temperatura da água e do solo correlaciona-se diretamente com o aumento da taxa de evaporação (Porto, 2000).

Conforme apresentado na Figura 14 a variação média mensal da ETP modelada pelo modelo e os dados observados para Petrolina para os anos de 2011 a 2013, demonstrou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,4916$ da variação dos dados de ETP modelados que podem ser explicados pela variação dos dados observados. O índice de significância ficou abaixo de 0,05, confirmando a que os valores são significativos.

Percebe-se que quanto maior a ETP observada melhor é a correlação com a ETP modelada. Isso indica que o modelo consegue identificar com mais eficácia a ETP da região, uma vez que esta depende dos dados de temperatura que são melhores estimadas pelo ETA.

Qualquer aumento da temperatura eleva muito a ETP de qualquer lugar do globo, sendo mais suscetíveis a drásticos aumentos as regiões de clima árido e semiárido. Segundo Hoff (2001), um aumento de 2°C na temperatura global, acarretará um aumento de até 40% na evapotranspiração potencial.

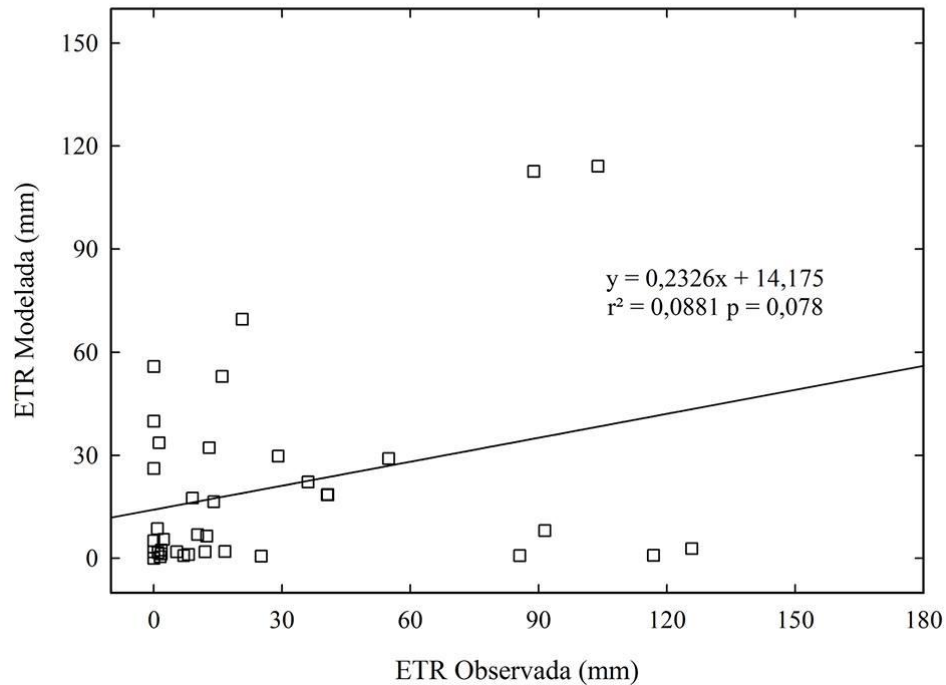
Figura 14: Correlação entre os dados observados e modelados da ETP para os anos de 2011 a 2013



Fonte: organizado pela autora

Segundo apresentado na Figura 15 a variação média mensal da ETR simulada pelo modelo e os dados observados para Petrolina para os anos de 2011 a 2013, demonstrou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,08$ da variação dos dados de ETR modelados que podem ser explicados pela variação dos dados observados. O índice de significância ficou acima de 0,05, ratificando que os valores não são significativos, com uma baixa correlação entre os dados, o que confirma que o modelo não estima com exatidão a ETR da região. Isso pode ser explicado pelo fato do modelo não prever bem a precipitação, além da região possuir grande sazonalidade e concentração de chuvas em curtos espaços de tempo, além de sempre apresentar elevadas temperaturas.

Figura 15: Correlação entre os dados observados e modelados da ETR para os anos de 2011 a 2013



Fonte: organizado pela autora

A baixa correlação da ETR em comparação com a boa correlação da ETP pode ser esclarecida também pelo fato de a ETP é estimada a partir da temperatura e latitude (radiação), ou seja, o potencial evaporativo da região, a ETR é dependente dos valores que precipitam o que compromete a boa correlação visto que, os dados de entrada de chuva no modelo podem conter erros resultando em uma baixa correlação. Uma vez que o modelo respondeu melhor aos dados de temperatura onde também apresentou boa correlação para esta variável, e baixa correlação para precipitação esse resultado era previsto e aceito.

Segundo Texeira (2009) a abundância de radiação solar incidente e escassez de chuvas ao longo do ano, apresentam como característica, elevados valores de deficiência hídrica determinada por grandes diferenças entre a precipitação e a evaporação.

No entanto, devido à falta de chuvas principalmente nos anos de 2012 e 2013, a ETR observada em alguns meses foi bem abaixo dos valores modelados, não existindo grandes quantidades de água no solo para evapotranspirar, nesses meses a ETR foi superestimada pelo modelo. No o ano de 2011, os valores observados precipitados foram maiores coparando-se com 2012 e 2013, expondo uma ETR maior que a modelada, o que forçou o coeficiente de

determinação para baixo. Quando a ETP for superior à precipitação (tabela 01), a ETR será igual à precipitação, portanto, a correlação com os dados modelados não foram satisfatórios, como já visto nos demais resultados, isso também se deve aos erros nos dados de entrada do modelo, o que dificulta a previsão dos índices de precipitação no semiárido.

4.4 Análises do balanço hídrico climatológico dos dados modelados e observados

Nesse item foram analisados os componentes do balanço hídrico (através do método de Thornthwaite e Mather), dos dados observados da estação SONDA e modelados do ETA climatológico (durante o período de 2011 a 2013). A importância dessa análise diz respeito verificar como o modelo está respondendo ao fenômeno da seca na região, uma vez que a combinação do aumento de temperatura do ar, redução das chuvas e redução da umidade atmosférica, fornecem ferramentas necessárias para gerar secas.

Com isso, a precipitação sendo em menor quantidade que a evaporação reduz a capacidade de armazenagem de água no solo, comprometendo a agricultura comercial e de subsistência, o armazenamento de água e produção de energia hidroelétrica, além de intensificar o processo de desertificação no semiárido e alterar as condições naturais da caatinga (MARENGO, 2011). Isso tudo ocasiona problemas de grande impacto na economia da região.

O Desenvolvimento econômico e o consequente aumento da exploração dos recursos naturais ocasionam alterações nos ciclos naturais. O balanço hídrico de uma região tende a se manter sem grandes alterações naturais, mas com o aumento populacional e o uso indiscriminado da água, as ações antrópicas podem acabar interferindo no ciclo hidrológico, por meio das taxas de precipitação, de infiltração no solo, da evapotranspiração e do escoamento superficial e profundo (HORISHI; FISCH, 2007).

A Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC previu para o ano de 2011 para o Sertão e Sertão de São Francisco chuvas acima da normal climatológica e variando de normal a acima da normal climatológica no Agreste, Zona da Mata e litoral Pernambucano, durante o trimestre de março a maio de 2011. Portanto, pode-se inferir como uma explicação para o balanço hídrico modelado ter destoado tanto do observado, uma vez que foi um ano atípico para o semiárido, como detalhado na Figura 16.

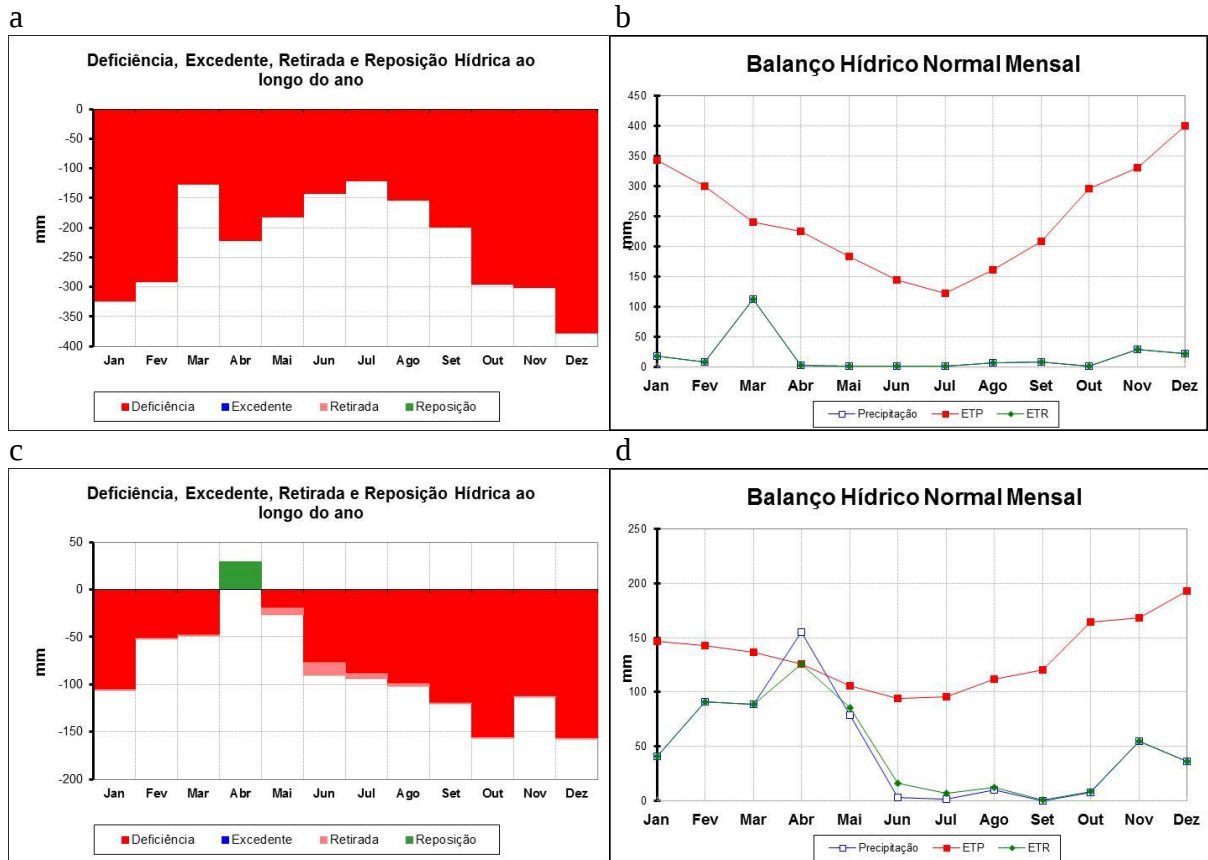
Percebe-se uma redução da deficiência hídrica nos meses de fevereiro a maio, com excedente hídrico no mês de abril, porém esse excedente não ultrapassa os 50 mm, segundo apresentado na Figura 16c.

Entretanto, o modelo não previu essa variação climática, em todo o ano o ETA mostrou-se com a Evapotranspiração Potencial (ETP) maior que Evapotranspiração Real (ETR) e Precipitação, o que significa dizer que a água recebida durante o período chuvoso, que para o modelo foi de fevereiro a abril, é perdida para a atmosfera por processos evaporativos e de evapotranspiração.

Ressalva-se que o Semiárido Nordeste tem como característica alta variabilidade espacial e temporal dos índices pluviométricos. Isto significa que algumas localidades poderão receber uma quantidade de chuvas maior do que outras, além da possibilidade de ocorrência de chuvas intensas. Desta forma é imprescindível o acompanhamento das previsões do tempo (APAC, 2011).

Portanto, a modelagem climática para o semiárido nordestino deve ser calibrada de tal forma, que possa prever essa variabilidade intensa da região, tornando-se dessa forma mais precisa e eficiente nas análises climáticas futuras. Sabe-se também que o semiárido não é apenas vulnerável às secas como também às enchentes, pois, sofre com as intensas precipitações pluviométricas concentradas em um pequeno período, ocasionando déficit hídrico em quase todo o ano (MARENGO *et. al.*, 2011). Pode-se afirmar que o ano de 2011 não foi considerado de grandes enchentes, e sim, com chuvas concentradas no mês de abril, o que não foi previsto pela modelagem climática, uma vez que se trata de um evento extremo de precipitação.

Figura 16: Balanço hídrico com dados modelados (a, b) e observados (c, d) para o ano de 2011



Fonte: Organizado pela autora

No sertão, o mês de outubro normalmente registra aumento nas médias pluviométricas. No entanto, os volumes observados na região como um todo ficaram próximos de zero. O balanço hídrico dos dados modelado apresentou para o ano de 2012 (figura 17) uma deficiência hídrica maior que o balanço hídrico dos valores observados, ou seja, uma grande taxa evaporativa e consequentemente maior. A ETP foi maior que a ETR nos balanços de dados observados e modelados, o que reafirmam a perda de água para a atmosfera, ou seja, menor disponibilidade hídrica, esta sendo bem projetada pelo modelo.

O déficit hídrico registrado pelo modelo foi alto tão quanto o observado, com exceção do período de chuvas, onde o modelo previu mais chuvas, que o ocorrido. Todavia, os anos de 2012 e 2013 foram anos bastantes secos no semiárido nordestino, conforme explica a Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC.

A evolução das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), em outubro de 2012, indicou um leve resfriamento das águas superficiais do Pacífico Leste, enquanto os modelos atmosféricos globais indicam o estabelecimento de uma condição de neutralidade. O padrão de anomalias

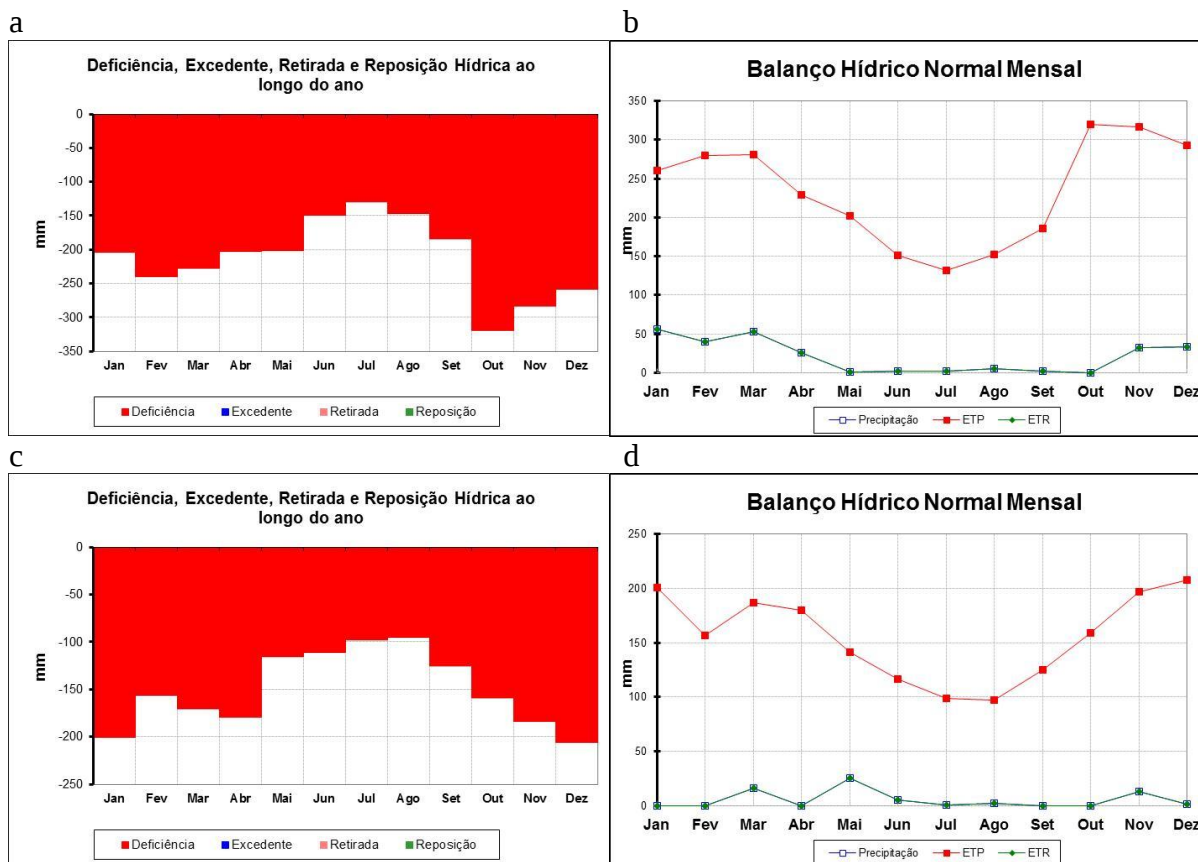
negativas de TSM no Atlântico Sul e positivas no Atlântico Norte dificulta a formação de chuva sobre o Nordeste brasileiro (APAC, 2012).

Ainda segundo boletins da APAC (2012) as informações apresentadas na Reunião Climática e nos modelos atmosféricos, a previsão de consenso, para o período de dezembro a fevereiro de 2013, para o estado de Pernambuco, é de chuvas abaixo da normal climatológica, prejudicando, especialmente, a estação chuvosa do Sertão do São Francisco. As temperaturas, por sua vez, devem ficar acima da média. Ressalta-se que, neste ano, configurou-se um quadro de seca no estado de Pernambuco, uma vez que as chuvas ficaram mal distribuídas e abaixo da média climatológica.

O Nordeste do Brasil apresenta acentuada variabilidade interanual, particularmente em relação à precipitação e à disponibilidade dos recursos hídricos, com anos extremamente secos e outros chuvosos. Segundo Kayano; Andreoli (2009), esta região é uma das principais na América do Sul, em que os sinais da variabilidade intrassazonal são mais evidentes.

Nos anos com a precipitação bem abaixo da média climatológica, como 2012 e 2013, o ETA não teve um bom desempenho, o que não significa dizer que o modelo não é eficiente para a região, apenas que precisa ser avaliado para que possa atingir a maior precisão possível nas previsões de cenários climáticos futuros, uma vez que o semiárido nordestino em especial a área de estudo, tem um grande potencial agrícola necessitando de planos e políticas que contemplem esse setor assim como também o abastecimento de água para a população.

Figura 17: Balanço hídrico com dados modelados (a, b) e observados (c, d) para o ano de 2012



Fonte: Organizado pela autora

A ausência de chuva e de nebulosidade sobre Pernambuco no primeiro trimestre do ano de 2013 permitiu a elevação das temperaturas, ficando a média das temperaturas máximas em torno dos 36°C no Sertão. Isto também se refletiu em baixos valores de umidade relativa, uma vez que esta é inversamente proporcional a temperatura do ar e as médias das umidades mínimas diárias ficaram abaixo dos 30% em muitos pontos do Sertão (APAC, 2013).

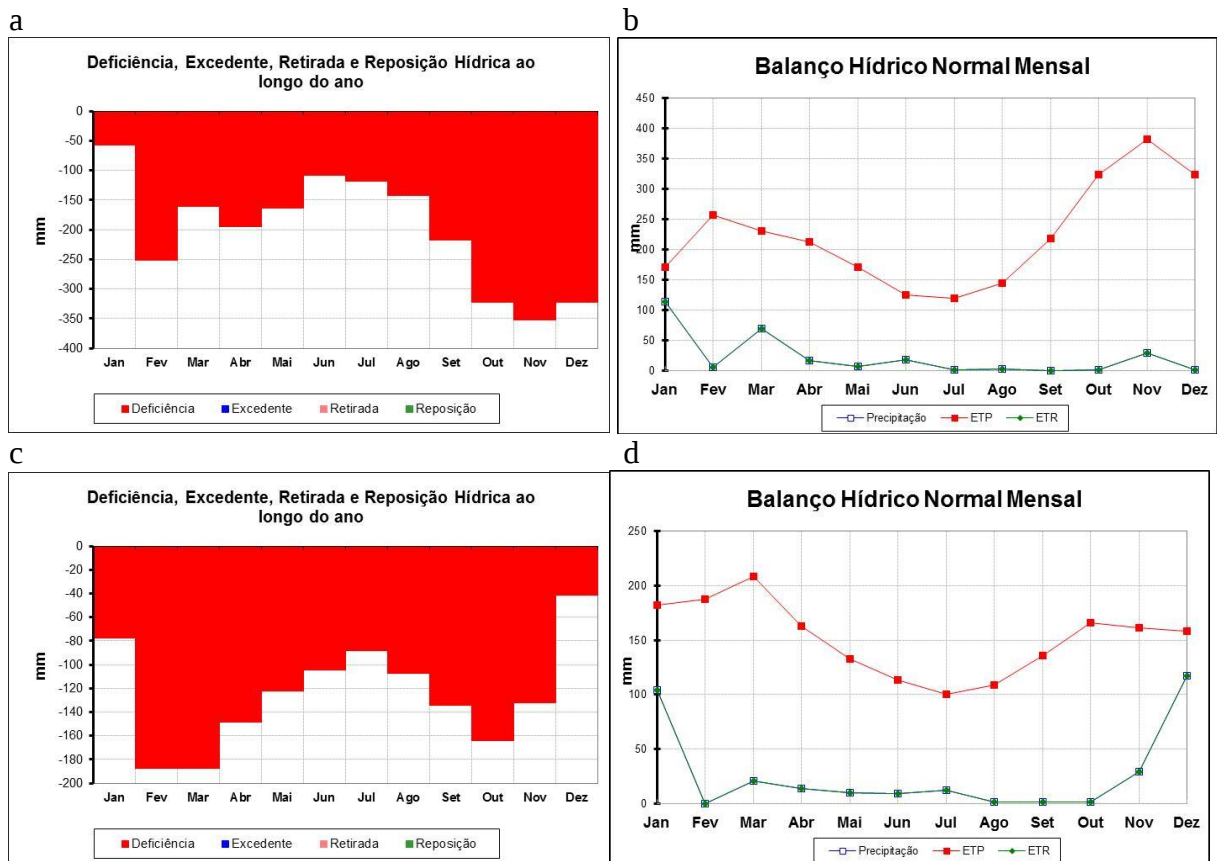
Os balanços hídricos para 2013 (Figura 18) demonstram bem esses dados onde os meses mais chuvosos foram janeiro e dezembro. Tanto o modelado quanto o observado apresentam grande percentual de déficit hídrico, onde a ETP foi superior à ETR e precipitação, apresentando boa correspondência entre a realidade e o projetado pelo modelo. Marengo *et. al.* (2011) reforçam esse grande potencial do semiárido sobre o déficit hídrico, pois, fazendo uma relação entre o número de dias com déficit hídrico e o número total de dias, sugere-se que o semiárido apresenta déficit hídrico em pelo menos 70% do ano.

Ainda de acordo com a APAC (2013) no ano de 2013, um dos principais sistemas indutores de precipitação no Nordeste tendeu a ficar nas áreas mais aquecidas ao norte, ou seja, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) esteve ao norte da sua posição

climatológica, por isto o mês de março apresentou baixos valores pluviométricos em todo o estado, o que se estendeu por todo o ano.

O semiárido em todos os balanços hídricos apresentados, sejam modelados ou observados, apresenta grandes perdas evaporativas, onde as condições naturais da região contribuem para que o déficit hídrico seja predominante durante todo o ano, uma vez que é uma região de altas temperaturas. Sobre essa questão Nobre et al. (2011), apud Assis (2012), fala que as perdas evaporativas, tanto a elevada temperatura já registrada no semiárido de Pernambuco quanto o aumento projetado nos cenários globais e regionais do IPCC, são uma indicação segura de que a perda de água por evaporação deve aumentar significativamente sobre o Nordeste durante as próximas décadas, aumentando assim o potencial de desertificação de áreas hoje classificadas como semiáridas. Como exemplo pode-se citar que os cenários futuros de precipitação e evaporação e os extremos de chuva sugerem tendência de aumento na duração da deficiência hídrica (maior frequência de dias secos consecutivos) em praticamente todo o ano, no Nordeste, isto é, tendência à “aridização” da região até final do século XXI (MARENGO, 2011).

Figura 18: Balanço hídrico com dados modelados (a, b) e observados (c, d) para o ano de 2013.



Fonte: Organizado pela autora

Logo, é de grande necessidade o estudo dos cenários climáticos futuros e de como as variações climáticas podem afetar o bioma de Caatinga e a população do semiárido nordestino. Esse tipo de pesquisa serve como subsídios para elaboração e/ou aprimoramento das Políticas Públicas voltadas para os efeitos do clima, para que se assumam medidas de contenção ou mitigação aos efeitos da seca, evitando dessa forma, o êxodo rural, ou até mesmo os refugiados do clima. "O problema dos refugiados do clima não é mais apenas um conceito, é um fato", apontou Kerim (2008) durante o 1º encontro anual do Fórum Humanitário Global, em Genova (Suíça). Kerim afirmou que o impacto do aquecimento global já é tão intenso que está alterando a vida das populações mais vulneráveis do planeta e defendeu uma aliança global para elaborar soluções para os problemas causados pelas mudanças climáticas. "Cada nação, cada cidade, cada comunidade e indivíduo tem um papel", afirmou.

A vulnerabilidade da população do semiárido deve ser considerada nos estudos climáticos. Nobre (2001) explica que os países em desenvolvimento são os mais vulneráveis às mudanças climáticas e ambientais de modo geral e dentro do país serão as populações mais pobres as mais atingidas, haja vista que a degradação ambiental sempre afeta mais profundamente os mais pobres e os excluídos.

4.5 Análises da correlação linear simples entre a precipitação observada e modelada com o Índice de Área Foliar do bioma Caatinga para os anos de 2011 a 2013

A Figura 19 mostra a correlação da precipitação média mensal acumulada observada, para 2011 a 2013, com os dados do IAF medidos pelo sensor MODIS.

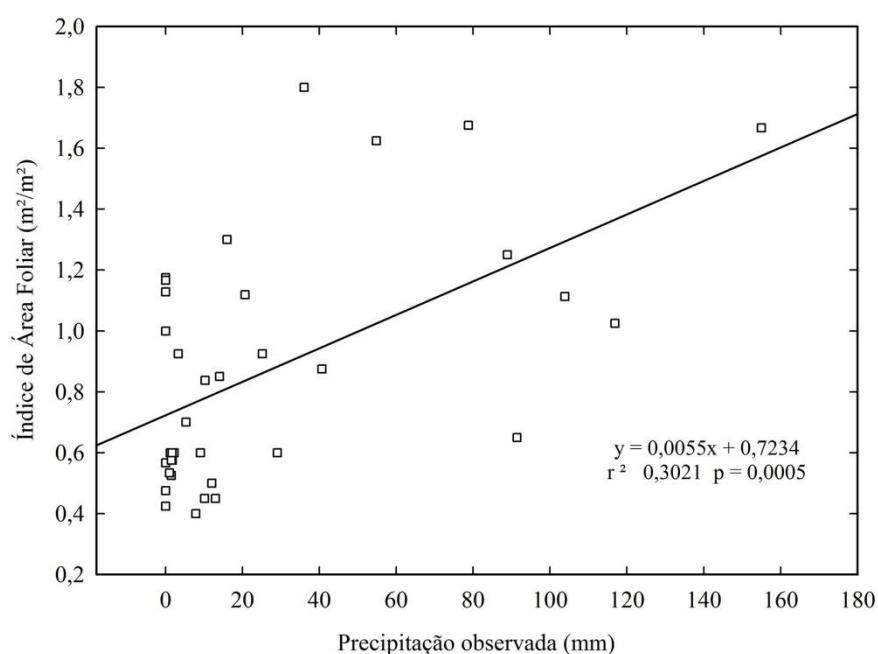
Observa-se que o coeficiente de determinação $R^2 = 0,3021$ ou $r=0,55$, o que significa dizer que existe uma relação física entre o IAF e a precipitação. Ainda que o valor do coeficiente de correlação seja de 0,55, é possível afirmar uma forte relação física entre a precipitação e o IAF. O índice de significância foi de 0,05 legitimando a correlação significativa dos valores. Vale ressaltar que entre um período seco e chuvoso, a vegetação precisa de um tempo para repor suas folhas, portanto, acredita-se que quando aplicado um log ocorrerá uma melhoria nas correlações.

A sazonalidade do clima interfere no Índice de Área Foliar – IAF do bioma Caatinga, em se tratando dos três anos analisados secos, no entanto choveu mais em 2011 do que em 2012 e 2013, esse índice pode ter grande variabilidade quando correlacionado à precipitação do período. O IAF é uma importante medida da cobertura vegetal, pois, controla as trocas de massa e energia de uma superfície vegetada (DANELICHEN et al., 2014). Em relação às

chuvas a Figura 19 mostra a correlação da precipitação média mensal acumulada, para os três anos, observadas com os dados do IAF medidos pelo sensor MODIS.

A Figura 20 mostra a frequência das medias do IAF com a precipitação observada, as variáveis seguem uma tendência similar. Porém, percebe-se que o IAF não ultrapassou 1,8 mesmo com altas precipitações e que não foi menor do que 0,5 mesmo com baixas precipitações. Além disso, é possível perceber que acima de 60 mm de precipitação o IAF alcançou o seu ápice de cobertura vegetal 1,8.

Figura 19: Correlação do IAF com a precipitação observada

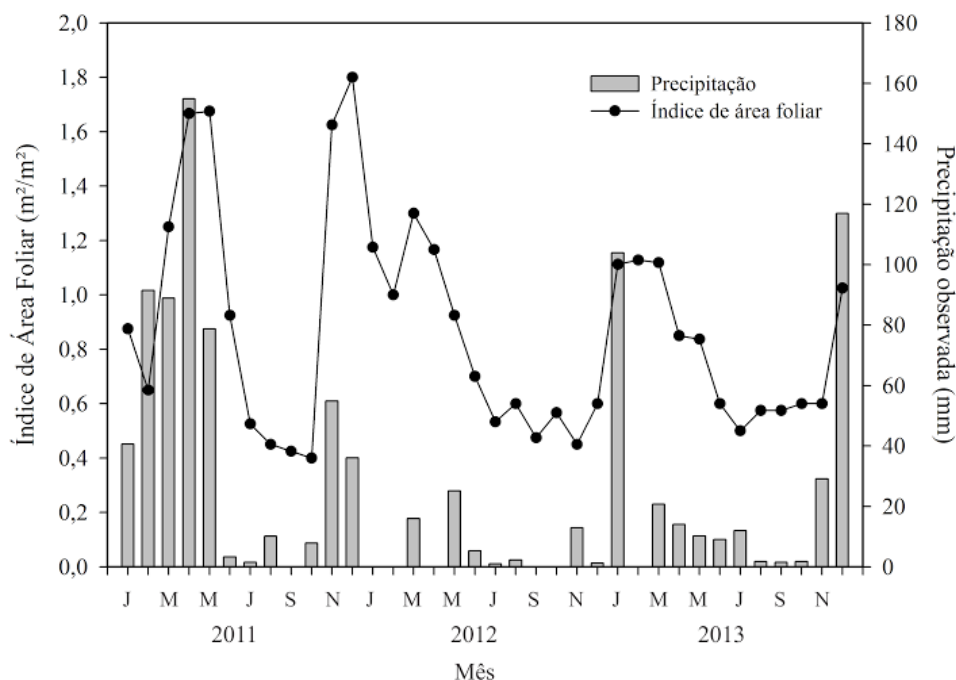


Fonte: Organizado pela autora

Para o ano de 2011, os meses que apresentaram os maiores índices de chuvas o IAF não apresentou os seus maiores valores.

Dos anos estudados em 2012, ocorreram os menores índices de precipitação como também os menores índices em 2013, apesar de considerado um ano seco, teve índices melhores que em 2012, devido o janeiro apresentar 103,87 mm e dezembro com 116,91 mm. Essas chuvas influenciaram significativamente o IAF deste ano.

Figura 20: Frequência das médias do IAF com a precipitação observada para os anos de 2011 a 2013.



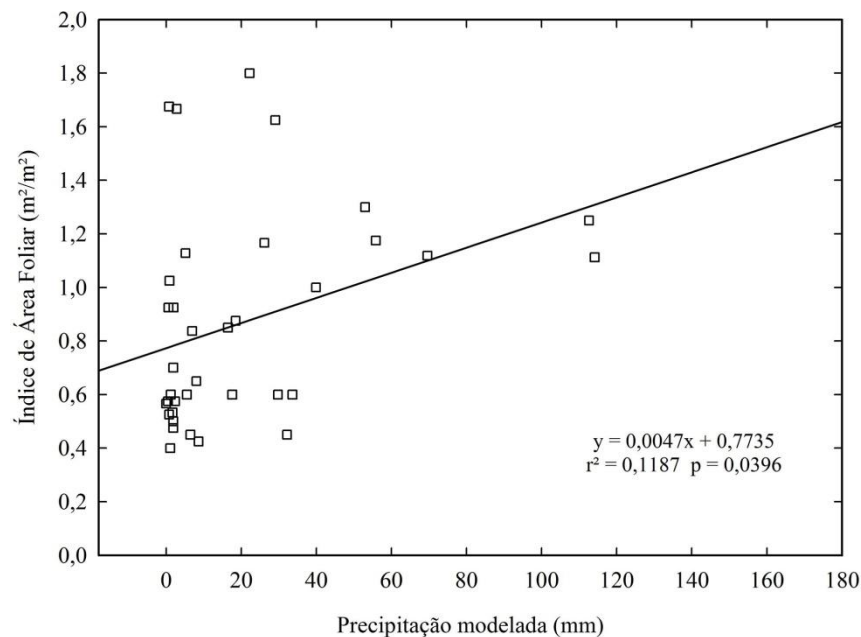
Fonte: Organizado pela autora.

Figura 21 mostra a correlação da precipitação média mensal acumulada, para os três anos, modeladas pelo ETA climático com os dados do IAF medidos pelo sensor MODIS.

Observa-se que o coeficiente de determinação $R^2 = 0,1187$ da variação do IAF observado que pode ser explicado pela variação da precipitação modelada para o período. O índice de significância ficou abaixo de 0,05 legitimando a correlação significativa dos valores, mesmo que a correlação tenha sido baixa (em torno dos 11%). Entretanto, onde a precipitação modelada revela-se mais baixa, a área do IAF tende a ser menor, ocorrendo grande concentração dos variáveis nos índices mais baixos, O modelo tende a subestimar a precipitação, observa-se que nos altos valores de IAF o ETA apresentou diminutos valores de chuva, não correspondendo com a realidade da vegetação.

Danelichen et al. (2014) obtiveram resultados satisfatórios em relação aos valores de IAF e a precipitação. O IAF estimado pelo produto MODIS demonstrou maior correlação com a precipitação obtida pelo TRMM apresentando correlação positiva ($R^2 0,8662$; $p = \text{valor} < 0,05$). Provavelmente, esse resultado é devido ao fato das duas estimativas serem oriundas de sensores orbitais, tanto o produto MODIS e a precipitação do TRMM. O que não é o caso do presente estudo, uma vez que a correlação é feita pelo sensor MODIS e o modelo climático ETA, dois mecanismos de funções distintas.

Figura 21: Correlação do IAF com a precipitação modelada

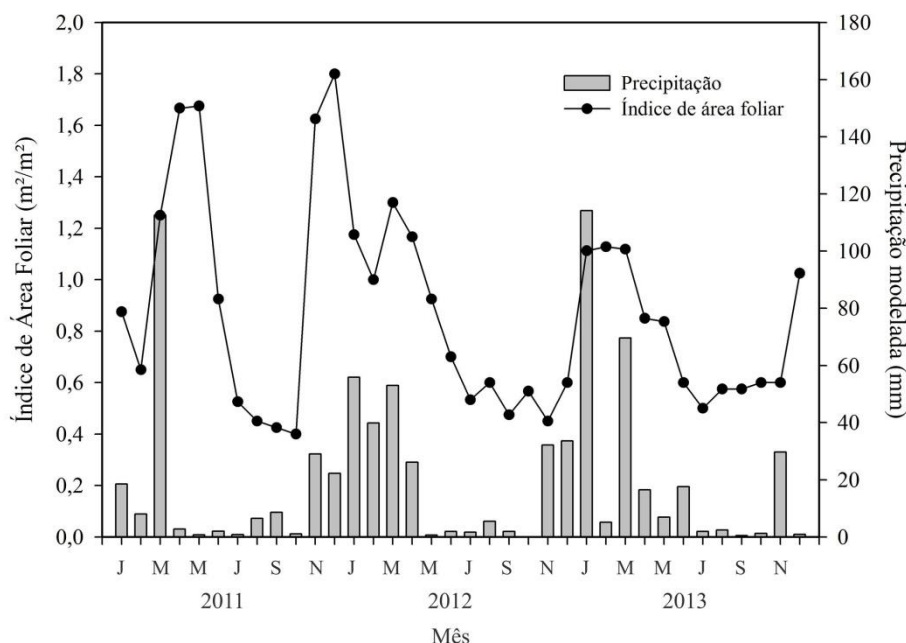


Fonte: Organizado pela autora

Contudo, pode-se afirmar que tanto os dados observados quanto os dados modelados possuíram correlação significativa com o produto do MODIS, mesmo com o déficit hídrico presente na maior parte dos anos analisados, o que compromete o desenvolvimento da vegetação.

A Figura 22 mostra a frequência do IAF com a precipitação modelada pelo ETA climático, percebe-se com o resultado que a precipitação projetada não corresponde ao IAF da região, exceto para os meses de março do ano de 2011 com precipitação de 112,64 mm e para o mês de janeiro de 2013 com 114,13 mm, este mês o modelo teve uma ótima resposta, pois conseguiu prever o extremo de chuva, que foi de 103,87 mm, observado. Portanto, o modelo teve uma análise satisfatória do IAF da vegetação de caatinga, mesmo esta estando sujeita a uma grande sazonalidade climática, o que pode contribuir para análises futuras de como a vegetação pode se revelar-se em relação ao clima.

Figura 22: Frequência das médias do IAF com a precipitação modelada para os anos de 2011 a 2013.



Fonte: Organizado pela autora

4.6 Análises de tendência da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica até 2040 para a área de estudo

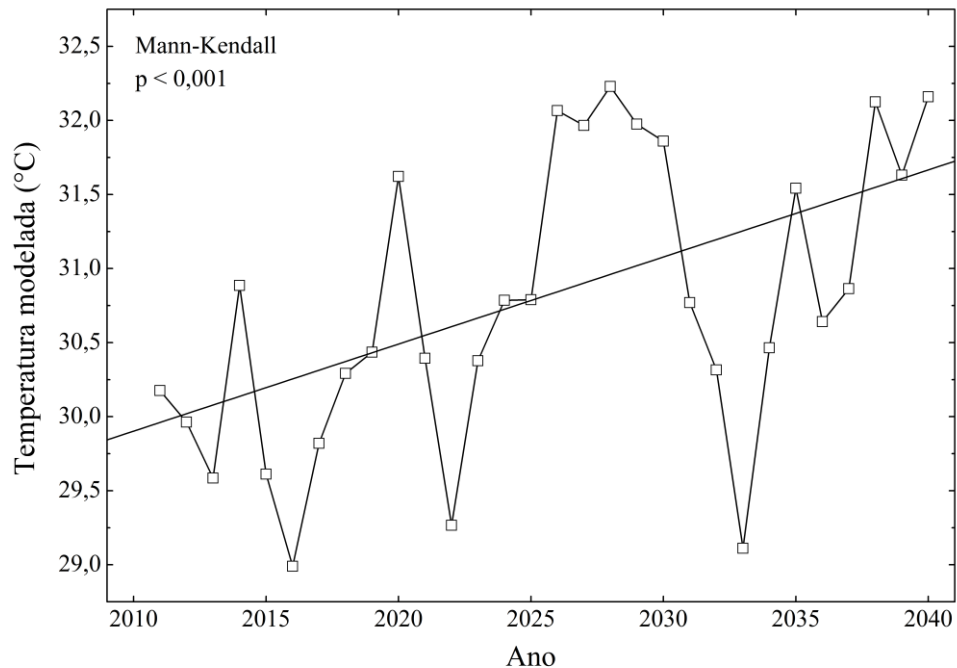
O estudo das tendências climáticas para cenários futuros atualmente são ferramentas importantes na geração de medidas para o entendimento do clima e seus efeitos futuros sobre os ecossistemas. A análise dos dados projetados pelo ETA Climático para o município de Petrolina no período de 2011 a 2040, para o cenário controle A1B, mostra que se os níveis de emissões de gases de efeito estufa se mantiverem como nos níveis atuais, haverá um aumento na temperatura variando em torno de 1,5 °C para Petrolina.

Como se pode perceber na Figura 23, que há uma tendência linear positiva para a temperatura. Isso contribuirá para o aumento do déficit hídrico, uma vez que a taxa evaporativa que já é alta no semiárido, seria ainda maior prejudicando os cultivos e desenvolvimento agrícola local. Em regiões onde a agricultura predominante é de sequeiro, ou seja, aquela cultivada em terrenos de baixa pluviosidade, a insuficiência e irregularidade das chuvas já a torna marginal, como na maior parte do semiárido (NOBRE 2001). Nobre e Assad (2005) reforçam essa ideia, visto que o aumento da temperatura induz a uma maior evapotranspiração, reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam. Os autores ainda esclarecem que, esse fato pode causar substituição de biomas existentes hoje, por outros mais adaptados a climas com menor disponibilidade hídrica para

plantas, no caso estudado, sugere-se que a caatinga pode ser substituída por semideserto. Tornando a vida da população local mais difícil o que resultará em possíveis migrações.

Contribuindo com esse aumento das taxas evaporativas, a tendência apresentada para a precipitação pluviométrica anual acumulada modelada segue uma constante, não apresentando nem aumento nem diminuição de chuvas para a área de estudo para os próximos 30 anos. Contudo, aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação aos lagos, açudes, reservatórios e aumento da evapotranspiração das plantas (MARENGO *et. al.*, 2011). O que acarretaria perdas econômicas e sociais significativas para a população do semiárido, além de escassez da água. Um impacto relevante para a vegetação de caatinga com o aumento da evapotranspiração, uma vez que 1,5 °C para uma região de semiárido é um valor muito elevado para 30 anos de projeção.

É necessário um estudo mais aprofundando de como esse aumento da temperatura e consequente avanço das taxas evaporativas podem interferir de maneira substancial no bioma Caatinga, objetivando elaborar medidas que possam contribuir para a conservação e preservação da vegetação, que apesar de ser adaptada à sazonalidade e as altas temperaturas do semiárido, uma elevação de 1,5 °C na temperatura média pode trazer consequências irreversíveis ao bioma e que merecem ser estudadas. A preocupação se torna mais crescente uma vez que o relatório do IPCC (2007) aponta que a tendência desse aumento de temperatura deve ser cada vez maior no Nordeste brasileiro. Os cenários de temperatura do ar para o futuro revelam, no Nordeste, alto grau de aquecimento, em especial na região do semiárido, que será maior em 2041-2070 e 2071-2100 comparando com 2010 a 2040.

Figura 23: Tendência da temperatura do ar até 2040 para Petrolina cenário A1B

Fonte: organizado pela autora

Nobre (2001) explica que há ainda, muita incerteza com relação às possíveis mudanças na precipitação pluviométrica e quanto às modificações na frequência de extremos climáticos (secas, inundações, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo etc). Ainda segundo Nobre (2001), no Brasil, análises das observações de temperatura indicam pequeno aumento das temperaturas do ar à superfície durante o Século XX, compatíveis com o aquecimento global experimentado pelo planeta.

No concernente às precipitações pluviométricas, não há indicação clara de mudança no cenário intermediário ou controle (A1B), e o que se observa é variabilidade climática nas escalas interanual e interdecadal. A análise feita com o acumulado da precipitação pluviométrica anual para os 30 anos não mostrou uma tendência linear negativa como apontam muitos estudos para o semiárido nordestino do IPCC (2007); PAN Brasil (2005); CPTEC/INPE (2007); Lacerda *et. al.* (2009a) entre outros, uma vez que estes observam um aumento significativo dos veranicos (dias secos consecutivos) e redução dos extremos, sugerindo um clima futuro mais seco para o sertão nordestino, com secas mais extensas e estações chuvosas reduzidas (MARENGO *et. al.*, 2011).

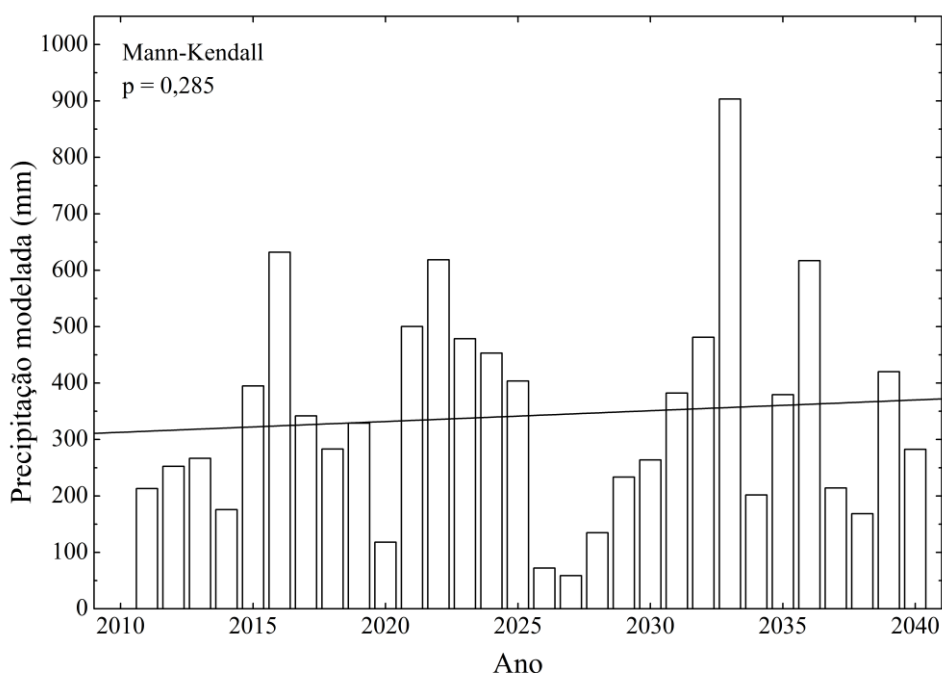
O que se observa é uma constante, não apresentando tendência de precipitação, permanecendo em torno dos 300 mm anuais, seguindo os padrões atuais de chuvas para a região, portanto, os valores modelados no cenário controle A1B do ETA não apresentam

tendências significativas positivas ou negativas de chuvas para o semiárido. O que se observa são variabilidades anuais como o ano de 2034 apresentando chuvas de 900 mm, o que pode ser considerado um ano bem atípico para a área de estudo, conforme observamos na Figura 24.

Contudo, vale salientar que um período de 30 anos para a climatologia é ainda encurtado para projeções climáticas, porém, serve como parâmetro para outras análises futuras, além disso, é o tempo recomendado pela OMM. Sobre as tendências de precipitações no Nordeste brasileiro Marengo *et. al.*, (2011, p. 393) fala:

“a partir de 1970 o volume de chuvas tem sido menor em relação aos anos anteriores, com exceção do ano de 1985, que foi muito úmido. Esta variabilidade também tem sido observada nas vazões do rio São Francisco, em Sobradinho, em que a tendência relativa positiva desde 1931, contrasta com a tendência negativa observada a partir de 1979. Ainda que esta queda de vazões possa estar associada, em parte, a essa variabilidade de chuva, também poderia estar associada ao uso da água para irrigação e outras formas de uso”.

Dessa forma, pode-se inferir que, com a tendência de aumento da temperatura para os próximos anos, associada à permanência dos índices pluviométricos, haverá disposição das vazões de rios diminuírem, açudes e riachos secarem mais rápido, devido ao aumento da percentual evaporativo, e como a área de estudo tem um grande potencial agrícola, com o cultivo irrigado, possivelmente, ocasionará danos à econômica local. Logo, é necessária uma preocupação redobrada aos projetos de mitigação e adaptação aos efeitos da seca no semiárido nordestino.

Figura 24: Tendência da precipitação pluviométrica até 2040 para Petrolina cenário A1B

Fonte: organizado pela autora.

Comumente notado, a tendência climática projetada pelo modelo para Petrolina segue um padrão que não foge dos índices climáticos observados na climatologia, o que ocorre em muitos casos são apenas variações interdecadais, com isso não há um consenso formado sobre a precipitação na região, pois, depende do período de tempo analisado (MARENGO et al., 2011). Sobre essa questão Horikoshi e Fisch (2007) reforçam que precipitação é uma variável que apresenta uma grande variabilidade temporal, principalmente na escala de tempo interanual. Importante observar conforme afirmam Santos e Brito (2007) como isso impactará no bioma de caatinga, uma vez que índices extremos de chuvas, com exceção para os dias consecutivos secos, demonstram forte correlação com a dinâmica vegetativa do bioma, que é mais dependente dos eventos extremos.

Ainda que a confiabilidade nas mudanças nos extremos de chuva seja menor comparada com os aumentos de temperatura média, o cenário futuro no nordeste, projetado pelo modelo regional ETA-CPTEC, é consistente com as projeções dos modelos globais do IPCC AR4 para o mesmo cenário de emissão A1B (MARENGO, 2011).

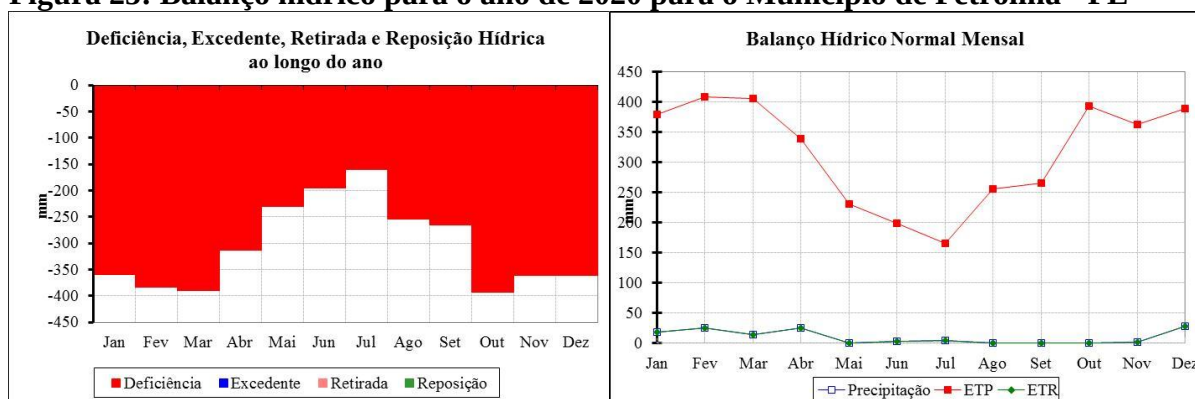
Essa constante nos índices de precipitação não será suficiente para manter os níveis de evapotranspiração, que será muito maior, em função do aumento da temperatura do ar. Diante disso, há de se ter atenção redobrada para o crescente de temperatura para o semiárido, pois, afetará diversos setores da sociedade, podendo interferir na agricultura e no abastecimento de água para a população, uma vez que pode ocasionar um provável aumento das perdas

evaporativas resultando em grande escassez de água, que já são significativamente altas para a área em questão.

4.7 Análise dos balanços hídricos projetados para os anos de 2020, 2030, 2040 para o Município de Petrolina - PE

Para os balanços hídricos modelados futuros foram observados a tendência de déficit hídrico durante todo o ano. A Figura 25 exibe o balanço hídrico para 2020, o qual apresenta alto déficit hídrico em todos os meses do ano. A ETP será maior que a ETR e precipitação. Estas por sua vez apresentarão os valores iguais sem alterações entre a ETR e o que será precipitado.

Figura 25: Balanço hídrico para o ano de 2020 para o Município de Petrolina - PE

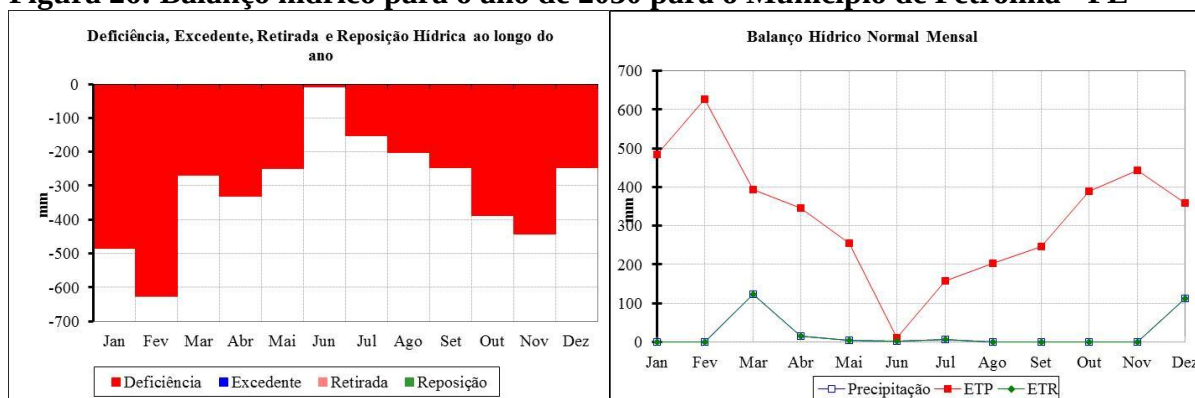


Fonte: organizado pela autora

A Figura 26 apresenta o balanço hídrico para 2030, onde o ETA aponta déficit hídrico alto em quase todo ano, com exceção para o mês de junho, julho e agosto. Que apesar de não corresponder ao período chuvoso da região o modelo apresenta menores valores de déficit hídrico que nos períodos chuvosos. Isso pode ser explicado pelas altas temperaturas do período chuvoso.

A ETP irá se equipará à ETR e a precipitação justamente no mês de junho, mês este que apresentará o menor déficit hídrico para o ano.

Figura 26: Balanço hídrico para o ano de 2030 para o Município de Petrolina - PE

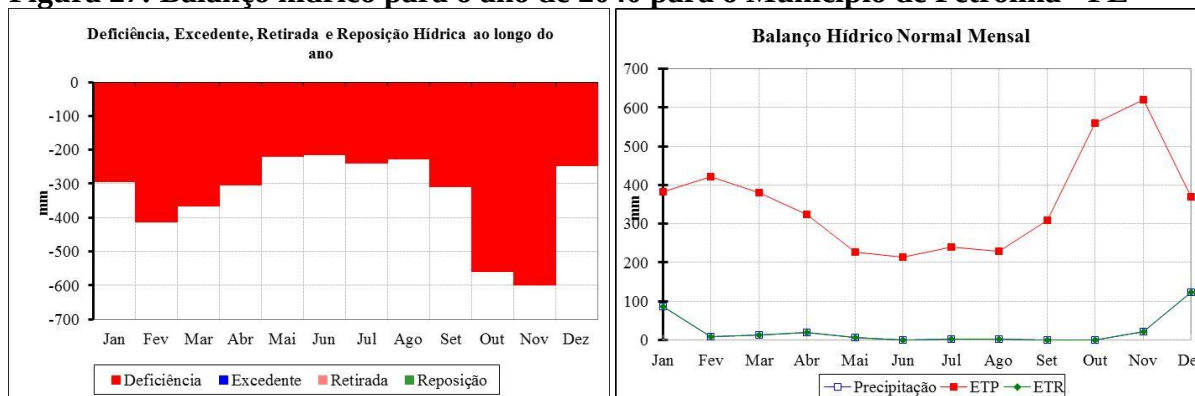


Fonte: organizado pela autora

Para o ano de 2040, o modelo também apresenta um balanço hídrico com déficit hídrico durante todo o ano, com valores bastante altos nos meses de outubro e novembro, conforme observado na Figura 27.

O modelo também assinala uma ETP maior que a ETR e a precipitação, onde a ETR e precipitação terão valores correspondentes, nada que fuja da normalidade dos balanços hídricos atuais.

Figura 27: Balanço hídrico para o ano de 2040 para o Município de Petrolina - PE



Fonte: organizado pela autora

Diante desses valores o resultado modelado aponta um alto déficit hídrico já esperado para o Município de Petrolina. Porém, não haverá reposição hídrica em nenhum dos anos projetados, o que pode ser apontado como preocupante, visto que o bioma Caatinga terá que se adaptar ainda mais à reduzida, ou quase nula, disponibilidade hídrica. Apesar da importância da disponibilidade hídrica na região semiárida, são poucas as pesquisas sobre balanço hídrico do solo e a maior parte foi feita com irrigação (ANTONINO, 2000). Assim como vale salientar a quase inexistência de trabalhos sobre o comportamento da Caatinga face

às condições de estresse, o que se faz necessário o desenvolvimento de trabalhos que envolvam aspectos fisiológicos para um maior entendimento da questão.

Esse baixo índice de disponibilidade hídrica ocorre basicamente devido às altas temperaturas e conseqüentemente aos altos valores evaporativos e à reduzida taxa de precipitação para o período, uma vez que para 2040 o modelo prever aumento de 1,5 °C e uma permanência nos índices de chuvas, índices estes considerados baixos. O que para uma região de clima semiárido é algo a se preocupar, visto que pode afetar muito mais a já reduzida disponibilidade hídrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais os estudos indicam alterações nos padrões do clima global, regional e local, o que contribui para a ascensão de pesquisas relacionadas com a temática. Tornando-se um interesse da sociedade mundial, principalmente, das regiões mais vulneráveis aos efeitos do clima. A modelagem de clima é uma grande aliada no planejamento de políticas públicas no que se refere em conter possíveis danos futuros de variações climáticas nessas regiões vulneráveis de todo o globo, e estudar e pesquisar sobre modelagem, a fim de torná-la mais eficiente e com precisão no fornecimento dos dados de entrada dos modelos torna-se algo essencial para o desenvolvimento da vida.

O modelo ETA aqui utilizado ainda apresenta dificuldades em projetar dados de precipitação, o que deve ser levado em consideração como os dados de entrada do modelo têm sido fornecidos, principalmente por se tratar de uma região semiárida onde os índices de chuvas são essenciais para a vida da população local e para o desenvolvimento da vegetação de caatinga.

No que se referem aos resultados obtidos, as principais conclusões que se destacam nesse trabalho são:

- O modelo apresenta tendência de aumento da temperatura em Petrolina, até 2040, de aproximadamente 1,5°C e para o mesmo período não apresentou tendências para a precipitação pluviométrica, mantendo-se constante, o que pode contribuir em um provável aumento da evapotranspiração da Caatinga, podendo causar interferências na preservação e conservação do bioma, além de aumentar mais ainda o déficit hídrico da região. Porém, é importante ressaltar que o modelo apresentou sobreestimativa de temperatura quando comparada com dados observados;
- A boa correlação física dos dados modelados com os observados das variáveis de temperatura constata que o ETA apresenta boa projeção para o potencial evaporativo da região semiárida. Contudo, não apresenta boa estimativa para evapotranspiração real;
- Diagnosticou-se baixa correlação dos dados de precipitação modelados e observados, o que refletiu na baixa correlação da ETR, uma vez que está intimamente ligado aos índices pluviométricos. O que pode ser explicado pela não representação espacial e temporal dos dados de entrada no modelo, contudo, não se pode afirmar que o modelo não responde bem aos índices pluviométricos, pois, o período analisado fora de apenas

três anos, e com características atípicas com, um ano chuvoso seguido de dois anos muito secos, prejudicando uma melhor análise do desempenho do modelo;

- Os resultados dos balanços hídricos modelados foram satisfatórios quando comparados aos dados observados, ambos não fugiram das principais características de regiões semiáridas, com um déficit hídrico, com exceção para o ano de 2011, que por ter exibido uma concentração de chuvas, o balanço hídrico apresentou um excedente hídrico no mês de abril que não foi inferido pelo modelo, o que não pode ser apontado como erro de modelagem, uma vez que o período comparado foi pequeno no nível de estudos climáticos;
- Na análise mês a mês dos três anos de validação do modelo, comparando-se as médias mensais com os valores observados e com a climatologia do município, verifica-se mais uma vez que o modelo mostrou resultado mais satisfatório no campo da temperatura, mostrando variações de 0,5 a 1 °C a mais sobre as médias climatológicas e valores muito próximos das médias observadas. Entretanto, na análise pluviométrica, mais uma vez o modelo não captou os extremos dos três anos estudados com valores bem abaixo da climatologia e das medias observadas. Ressalta-se com isso a importância de calibrar modelos climáticos para que estes possam responder de forma mais precisas à variabilidade interanual do clima semiárido;
- Na Análise do IAF na vegetação de Caatinga houve correlação significativa em ambos os casos com os valores observados e modelados, ressaltando que a correlação com os dados observados obteve uma melhor resposta, porém deve-se ater ao fato da caducidade natural da vegetação devido à sazonalidade do clima, com isso requer um período para as folhas surgirem, sendo o bioma de Caatinga de grande característica de resiliência, se recuperando rapidamente do estresse hídrico quando ocorre um índice significativo de chuvas;
- Na análise dos balanços hídricos futuros para o Município de Petrolina, percebe-se que o modelo apresenta um cenário de alto déficit hídrico, com reduzida, ou quase nula, disponibilidade hídrica. O que não destoa da realidade atual da região o que mostra que o modelo é adequado na projeção da disponibilidade hídrica, uma vez que apresentar déficit hídrico em praticamente quase todo o ano é uma característica natural de regiões semiáridas. O que gera preocupação é a ausência de reposição hídrica nos anos modelados, o que pode forçar o bioma Caatinga a se adaptar aos extremos da seca.

Tudo isto ocorrerá em uma região já muito flagelada pelas secas e enchentes e pela pobreza atuais. O Nordeste, e em particular o Semiárido, é a área mais vulnerável do Brasil frente aos impactos das mudanças climáticas. É previsível que a população pobre venha a sofrer as consequências mais do que outros grupos e, ao mesmo tempo, estará menos preparada a adaptar-se às mudanças.

Portanto, é urgente o planejamento e implementação de estratégias necessárias para reduzir a vulnerabilidade e aumentar a capacidade de adaptação regional às mudanças.

Os resultados da pesquisa apontam que o modelo ETA Climático, oriundo do HadCM3, é adequado para o estudo das mudanças climáticas e serve como ferramenta de suporte nos planejamento de políticas públicas voltadas para questões climáticas futuras.

5.1 Benefícios

O presente trabalho traz resultados importantes para a ciência, para as políticas públicas e para a sociedade.

No que concerne aos benefícios à ciência pode-se destacar:

- Avanço no conhecimento científico sobre as variações climáticas em regiões semiáridas e bioma Caatinga;
- Formação de recursos humanos preparados para o entendimento e planejamento do clima e seus impactos sobre o bioma Caatinga.

Para as Políticas Públicas:

- Apontar falhas na modelagem utilizada pelo poder público, e a necessidade de avanços e investimentos nos modelos que são utilizados para o monitoramento, planejamento e gestão do bioma Caatinga frente às mudanças climáticas.

Para a sociedade:

- Contribuir na melhoria das condições ambientais atuais e futuras frente às mudanças climáticas. Assim mitigar os efeitos do clima sobre a qualidade das populações;
- A existência de cobertura vegetal é de grande importância para a vida, pois, são nos vegetais que se realiza a fotossíntese da qual depende a vida. Assim, a sustentabilidade

de um ecossistema é de grande importância para a produção do oxigênio a partir do dióxido de carbono;

- A Caatinga possui inúmeras funções sociais e econômicas. São fontes de bens como madeira, combustível, alimentos e matérias-primas; tem função de proteção do solo contra erosão, de controle do ciclo e da qualidade da água.

Assim, os estudos que avançam no conhecimento para a sustentabilidade da caatinga, aqui em especial as mudanças climáticas, tem sido de grande interesse dos cientistas, do poder público e da sociedade civil.

Logo, os governantes de diferentes partes do mundo têm desenvolvido ações estratégicas simultâneas: reflorestamento e exploração dos recursos naturais.

É importante divulgar que esta pesquisa é de interesse do governo do estado de Pernambuco e conta com o apoio financeiro do governo de Pernambuco, através da APAC. Os resultados serão utilizados pelo poder público estadual nas ações de Políticas Públicas voltadas para o enfrentamento das Mudanças Climáticas.

6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - **FAO Irrigation and Drainage Paper #56**, 1998.

ALVES, José Jakson Amancio; ARAÚJO, Maria Aparecida de; NASCIMENTO, Sebastian Santos do. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. In: **Caminhos de Geografia- revista on line**. Instituto de Geografia – ufu. Programa de Pós-graduação em Geografia., v.9, n.27, 2008. p.143-155.

ALVES, L. M; MELO, A. B. C.; CHOU, S.C. NOBRE, P. Estudo comparativo entre a precipitação sazonal simulada pelo modelo ETA e observada sobre o Brasil. In: **11º Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro, 2000. 1 CD-ROM.

AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais**. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

ANTONINO, A. C. D et al. Balanço Hídrico em solo com cultivo de subsistência no semiárido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.4, n. 1, p. 29-34. Campina Grande, PB. DEAg/UFPB, 2000.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Previsão Climática para o Estado de Pernambuco durante os meses março-abril-maio 2011**. Boletim elaborado em 22 de fevereiro de 2011. Disponível em:< http://www.apac.pe.gov.br/grac/prev_clima022011.pdf> Acesso em: 04 set. 2014.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Informe Climático**. Novembro de 2012. Disponível em:<http://www.apac.pe.gov.br/msirh/arquivos/informes/APAC_INFORME_CLIMATICO_NOVEMBRO_DE_2012.pdf>. Acesso em: 04 set. 2014.

_____. **BOLETIM DE INFORMAÇÕES CLIMÁTICAS DO MÊS DE MARÇO DE 2013**. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/msirh/arquivos/boletins/BOLETIM_DO_CLIMA_MAR%C3%87O_2013.pdf. Acesso em: 04 set. 2014.

_____. **Informe Climático**. Abril de 2013. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/msirh/arquivos/informes/Informe_abril.pdf>. Acesso em: 04 set. 2014.

ARAÚJO, Janduy Guerra. **UTILIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE NAVIER – STOKES COM A PARAMETRIZAÇÃO CONVECTIVA BMJ PARA PROGNÓSTICO DE TEMPERATURA, UMIDADE E VENTO SOBRE DIFERENTES CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA UTILIZANDO O MODELO REGIONAL ETA**.

Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB, 2012.

ASSIS, Janaína Maria de Oliveira de. **Análise de tendências de mudanças climáticas no semiárido de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA. Recife, 2012.

BELTRÃO, Breno Augusto et al.(Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Petrolina, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

BASTIAANSEN, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. & Holtslag, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, 1998. 212–213: 198–212.

BRUTSAERT, W.H. **Hydrology: An Introduction**. New York: Cambrigde University Press, 2005. 605p.

CAMARGO, M.B.P., CAMARGO, A.P. Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de thornthwait e mather. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n.2, 1993.

CANDIDO, Humberto G., BARBOSA, Marx P. e SILVA, Miguel J. da. ‘Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó Paraibano’. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2, vol.6: 368-371, 2002. <http://www.agriambi.com.br>

CHOU, Sin-Chan. **Modelo Regional Eta**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/27.html>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

CHOU, Sin- Chan et. al. **Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs**. Published online: 12 February. Springer-Verlag 2011.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE J. F.; GOMES J. L. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. European Geosciences Union. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 12, 537–555, 2005.

CORDEIRO, Sidney Araújo; SOUZA, Celso Coelho; MENDONZA, Zaíra M. S. H. **Florestas Brasileiras e as Mudanças Climáticas**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia. Edição n.11, fev. 2008.

DANELICHEN, Victor Hugo de Moraes et al. Estimativas de índice de área foliar de uma pastagem por sensoriamento remoto no Pantanal Mato-grossense. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36 n. 3 set- dez. 2014, p. 373 – 384.

DONIGIAN, A.S.; RAO, P. S. C. **Selection, application and validation of environmental models**. Utah State University D. G. De Coursey, p. 577- 601, 2004.

DUBROVSKY, M. **Creating Daily Weather Series with the use of the Weather Generator**. *Environmetrics*, p.8:409-424, 1977.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region. In: LAL, R.; DIMBLE, J. M.; STEWART. (Eds.). **Global Climates Change and Tropical Ecosystems**. Advances in Soil Science. Boca Raton, Flórida, E.U.A.: CRC Press. p. 231-249, 2000.

FERNANDEZ, J. P. R. **Ondas Quase-estacionárias no Hemisfério Sul: Observações e Simulações Climáticas sobre América do Sul**. Tese de Doutorado em Meteorologia. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE*, Brasil, 2004.

FILL, H.D.; SANTOS, I. dos; FERNANDES, C.; TOCZECK, A.; OLIVEIRA, M.F. de. Balanço Hídrico da Bacia do Rio Barigüi, PR. **R. RA'E GA**. Editora UFPR. Curitiba, n. 9, p. 59-67, 2005.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – FBDS. **A Problemática do Desmatamento na Amazônia Legal e seu Papel nas Mudanças Climáticas Globais**. Disponível em: http://www.fbds.org.br/rubrique.php3?id_rubrique=58>. Acesso em: 29 jul. 2014.

GALVÍNCIO, J. D. ; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de . **RELAÇÃO ENTRE O FENÔMENO EL NIÑO E OS TOTAIS MENSIS PRECIPITADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 07, n.04, p. 113-119, 2002.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de; SHIRINIVASAN, V. S. . Balanço Hídrico à Superfície da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio Grande do Sul, v. 11, n.03, p. 135-146, 2006.

GALVÍNCIO, J. D. ; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de; SHIRINIVASAN, V. S. . Avaliação do Desempenho de Modelo Hidrológico de Balanço Hídrico na Sub-bacia de Caraúbas, em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, p. 22-31, 2007.

GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, HEWERTON ALVES DA; POPESCU, SORIN S. . ANALYSIS OF INFLUENCE OF EVAPOTRANSPIRATION ON RAINFALL IN AN ATLANTIC FOREST USING REMOTE SENSING DATA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, p. 17-33, 2014.

GIELOW, R.; Santos Alvalá, R. C.; Hodnett, M. G.; Souza, A. Albedo no Pantanal SulMatogrossense durante e após o período de inundação de 1998. In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia / II Reunião Latino Americana de Agrometeorologia, Florianópolis, 1999. **Anais...** CDROM, p. 2026-2031.

GROPPO, Juliano Daniel. **Estudo de Tendências nas séries temporais de qualidade da água de rios do Estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2005.

HOFF, H. Climate Change and Water Availability. IN: Lozán, J.L., Grabl H. and Hüptner, P. In: **Climate of the 21st Century: Changes and Risk**. Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg, 2001.

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil. In: **Ambi-Água**. Taubaté, v.2, nº2, p.33-46, 2007.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. Variabilidade decenal e multidecenal, In: Cavalcanti, I.; Ferreira, N.; Silva, M. G. J. da; Dias, M. A. F. S. (ed.). **Tempo e Clima no Brasil**, Oficina de Textos, São Paulo, p. 375-383, 2009.

KERIM, Srgjan (2008). **Aquecimento criou "refugiados do clima", diz ONU**. Reportagem disponível em: <http://noticias.terra.com.br/ciencia/interna/0,,OI2969724-EI8278,00.html>. Acesso em: 07 set. 2014.

KLOCKE, F.; Gerschweiler, K. Trockenbearbeitung – Grundlagen, Grenzen, Perspektiven, VDI Berichte, n.1240, pp.1-40, 1996.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B. Water balance in Cubatão-Sul river catchment, Santa Catarina, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 3, p. 5-17, 2008.

LIMA, Jorge E. F. W.; SILVA, Cícero L da; OLIVEIRA, Carlos A. da. **Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições de Cerrado**. Revista Brasileira Agrícola Ambiental. v.5, n1, Campina Grande, 2001.

LI, F.; LYONS, T.J. Estimation of Regional Evapotranspiration through Remote Sensing. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, p. 1644-1654, 1999.

LINS, Carlos José Caldas; ALBUQUERQUE, Maria Jaci Câmara de. A região semiárida do Nordeste do Brasil. In: **Revista do Instituto Brasileiro de Edições Pedagógicas**. Área de conhecimento Geografia. Ano 1- nº14, novembro de 2001.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Mudanças Climáticas recentes e ação antrópica**. Geografia (Rio Claro), São Paulo, 1994.

LOPES, Pedro Manuel Sousa. **Metodologias de Calibração e validação do modelo de simulação climática CLIGEN de apoio à modelação de perda do solo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Solo e da Água. Évora, 2005.

MARENGO, José A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI**. Brasília: MMA, 2006. 212 p.: il. color; 21 cm (Série Biodiversidade, v.26).

_____. Mudanças Climáticas: detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI. In: CAVALCANTI, Iracema F. A. et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 407-424, 2009.

MARENGO, J.A.; SOARES, W.R. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC. In: TUCCI, C.E.M.; BRAGA, B. (Ed.). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, p.209-242, 2003.

MARENGO, J. A. et al. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas**. Campina Grande – PB: Instituto Nacional do Semiárido – INSA, 2011.

MARTINS, Gilberto Andrade. **Princípios de estatística**. 4. ed. – São Paulo: Atlas, 1990.

MEIRA, Dânia Naomi Osato. **Avaliação de previsões de tempo do modelo ETA para subsidiar pesquisas agrícolas no Brasil**. Projeto supervisionado. Campinas: UNICAMP, 2010.

MELLO, C.R. de; LIMA, J.M. de; SILVA, A.M. da. Evapotranspiração em microbacia hidrográfica de fluxo efêmero associada à umidade do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 95-102, 2004.

MESINGER, F. **A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models**. Riv. Meteor. Aeronautica, 1984, p. 44, 195-202.

MESINGER, F., Z. I. Janjic; S. Nickovic; D. Gavrilov; D. G. Deaven. **The step-mountain coordinate**: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. Mon. Wea. Rev., p. 116, 1493-1518, 1988.

MOURA, Rildo Gonçalves de et. al. Avaliação do modelo regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25. n.1, 46-53, 2010.

MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: **SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍ-SES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA**, 2., 1995,Recife. Anais. Recife: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 27-32, 1995.

MORAES, Wanderson Buckner, et al. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas** v. 5, n. 2, p. 3-14, 2011.

NEVES, Daniel Gonçalves das et al. Modelagem Climática Regional dois anos de extremos de precipitação sobre o estado do Amapá: teste de sensibilidade aos esquemas convectivos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, p.569 - 578, 2011.

NOBRE, Carlos A. **Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país.** Revista Parcerias Estratégicas. Ministério da Ciência e Tecnologia, nº 12, setembro, 2001.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D. O aquecimento global e o impacto na Amazônia e na agricultura brasileira. In: **INPE e Print**, São José dos Campos, v.1, 2005.

OLIVEIRA, Angela Santana de Oliveira et al. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. vol.28 no.4 São Paulo Dec. 2013.

OLIVEIRA, Francicleide Palhano de; LINS, Maria Vileide Barros; TABATCHNIK, Nahum. **Florestas: uma palavra, muitos valores.** Recife: CPRH, 2011. 20p.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C.A. **A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America.** *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 23, p.2199-2203, 2003.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas.** Guaíba-RS: Livraria e Editora Agropecuária Ltda, 2002.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco.** Simone Rosa da Silva (Org.), Recife: Ed. A Secretaria, 2006.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Região do Araripe: diagnóstico florestal.** Brasília – DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

PERNAMBUCO. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidades (SEMAS). **Plano Estadual de Mudanças Climáticas.** Recife: Governo do Estado de Pernambuco, 2011.

PINEDA, L.A.C. **Estudo Observacional e de Modelagem Hidrológica de uma Micro-Bacia em Floresta Não Perturbada na Amazônia Central.** 241f. Tese (Doutorado em Meteorologia). INPE. São José dos Campos, 2008.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JR, J. O aquecimento global e a agricultura. **Revista Saneas**, v. 18, p. 34-37, 2004.

PITA, Rodolfo Fernandes Queiroga. **Influencia das Mudanças Climáticas no Cálculo da Evapotranspiração no semiárido da Paraíba.** Monografia do curso de Graduação em Engenharia Civil. João Pessoa: UFPB, 2011.

PORTO, R. L.; FILHO, K. Z.; SILVA, R. M., DOURADO, S. S. (2000). **Apostila de Hidrologia Aplicada.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD – 307 Hidrologia Aplicada

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Matherb** (1955). V5.0, Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia – ESALQ/USP, 1999.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. **Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America**. *Geophysics Research Letter*, v.34, L09708, 2007.

SANTOS, Carlos A. C. dos. Identificação de eventos extremos de precipitação e temperatura em regiões áridas e semiáridas. In: GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano (Org.). **Mudanças Climáticas e modelos ambientais**: caracterização e aplicações. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2012.

SANTOS, C. A.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p.303-312, 2007.

SANTOS, Thiago Veloso dos. **FLUXOS DE CALOR NA SUPERFÍCIE E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA EM ÁREAS AGRÍCOLAS E DE VEGETAÇÃO NATIVA NA BACIA DO JACUÍ POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e do Ambiente. Porto Alegre. UFRS: Centro de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, 2009.

SILVA, Allan Rodrigues et. al. Análise do modelo ETA comparando com dados observados da estação de Maceió. **Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010. Disponível em: http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/784_96919.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2014.

SILVA, E. C. et. al. Aspectos ecofisiológicos em dez espécies em uma área de caatinga n. 48 Caracterização do Bioma Caatinga município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Revista Iheringia**, Série Botânica v. 59, p. 201-205, 2004.

SILVA, Flávio H. B. B. da et al. **Principais Solos do Semiárido Nordestino do Brasil**: “dia de campo”. EMBRAPA - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Recife - UEP/Recife, 2005.

SILVA, Lilian Danielli Da et al. Análise comparativa de precipitação, temperatura, e evapotranspiração entre bacias representativas do Agreste de Pernambuco. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Água, desenvolvimento econômico e socioambiental. Bento Gonçalves – RS, 2013.

SILVA, L. F. M. et. al. Crise Ambiental, Capitalismo e a Educação Ambiental Crítica. In: SILVA, Laudiélcio Ferreira Maciel da; Coutinho, Robério Daniel da Silva (Org.). **Crise Ambiental e Mudanças Climáticas**: saberes que perpassam os campos da educação e da comunicação. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2012.

SKINNER, B.J. & PORTER, S.C. **The dynamic Earth**. An introduction to physical geology. Fourth edition. New York: John Wiley & Sons, 2000. 112 p.

SONDA. **Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais**. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/petrolina.html>>. Acesso em 15 mai. 2014.

TEXEIRA, Antonio Heriberto de Castro. **Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009**. Embrapa Semiárido Petrolina, PE, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Cerrerton, New Jersey. Drexel Institute of Tecnology, Publications in Climatology, 104p, 1955.

TOMASELLA, Javier; ROSSATO, Luciana. Balanço Hídrico. In: **Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas**. São José dos Campos, SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2005.

TOMÉ, Ricardo Filipe Domingos. **Previsão do tempo com modelos de mesoscala: casos de estudo com modelo MM5 nos Açores**. Dissertação submetida para obtenção do grau de Licenciatura em Ciências Geofísicas (Especialização em Meteorologia). Faculdade de Ciências-Universidade de Lisboa, 2004.

WARD, A.D.; TRIMBLE, S.W. **Environmental Hydrology**. 2 nd Ed. USA: Lewis Publishers, 2004. 475 p.